ГЛАВНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ПРИ ГОСПЛАНЕ СССР (СОЮЗГЛАВЭНЕРГО)

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО НАЛАДКЕ, ПРОВЕРКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ТИПА ДЗЛ-1

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

gost.e-ecolog.ru

ГЛАВНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ПРИ ГОСПЛАНЕ СССР (СОЮЗГЛАВЭНЕРГО)

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО НАЛАДКЕ, ПРОВЕРКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ТИПА ДЗЛ-1

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

СОСТАВЛЕНО БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОРГРЭС

Авторы: *канд. техн. наук Я. М. Смородинский и инж. В. М. Волков*

Редактор *инж. В. А. Семенов*

ВВЕДЕНИЕ

Продольная дифференциальная защита линий типа ДЗЛ-1 предназначена служить в качестве основной защиты от всех видов коротких замыканий линий электропередачи небольшой протяженности (до 15 *км*) в сетях с большими и малыми токами замыкания на землю. Защита построена по известному принципу циркуляции тока во вспомогательных проводах в нормальном режиме работы электропередачи и при внешних коротких замыканиях.

В отличие от эксплуатируемых в энергосистемах Союза продольных дифференциальных защит типа НСВ фирмы Вестингауз и типа РДЛ Харьковского политехнического института, защита типа ДЗЛ-1 имеет более высокую чувствительность при трехфазных коротких замыканиях. В связи с этим в защите применен быстродействующий автоматический контроль исправности вспомогательных проводов, который при обрыве последних блокирует защиту.

В защите ДЗЛ-1 применены поляризованные реле типа РП-7, германиевые выпрямители и газонаполненные стабилизаторы напряжения. Применение этих элементов обеспечивает стабильность характеристик защиты.

В настоящих руководящих указаниях дано подробное описание защиты, приведены рекомендации по выбору уставок и проведению типовых испытаний и эксплуатационных проверок защиты. Продольная дифференциальная защита типа ДЗЛ-1, серийное производство которой освоено в начале 1961 г. Чебоксарским электроаппаратным заводом, разработана заводом совместно с релейными лабораториями «Теплоэлектропроекта» и ВНИИЭ. Разработка защиты на последних стадиях происходила с участием ЦЛЭМ Мосэнерго.

УТВЕРЖДАЮ
Главный
специалист-электрик
Союзглавэнерго
П. Устинов

Глава первая

ОПИСАНИЕ ЗАЩИТЫ

1-1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Защита построена по принципу сравнения токов, протекающих по концам защищаемой линии электропередачи. При токах, до 2,5-кратных току срабатывания защиты, сравниваются величины и фазы токов, а при больших кратностях сравниваются только фазы этих токов. С помощью комбинированных фильтров тока типа $\dot{I}_1 - k\dot{I}_2$ токи линии преобразуются в однофазные, что позволяет применять защиту в односистемном исполнении.

Для сравнения токов полукомплекты защиты двух концов защищаемой линии электропередачи соединяются между собой кабельной линией, в которой используются два вспомогательных провода. В нормальном режиме работы линии и при внешних коротких замыканиях по вспомогательным проводам циркулирует переменный ток. При коротких замыканиях в защищаемой зоне при двустороннем питании величины циркулирующих токов резко снижаются.

Сравнение токов на каждом конце линии производит дифференциальное реле, имеющее две обмотки: рабочую и тормозную (аналогично защите РДЛ и НСВ).

Для ограничения напряжений и токов во вспомогательных проводах и стабилизации характеристик защиты применены газонаполненные стабилизаторы напряжения.

В защите применен быстродействующий автоматический контроль, выводящий защиту из действия при обрыве вспомогательных проводов, что позволяет использовать высокую чувствительность защиты при междуфазовых повреждениях.

При обрыве вспомогательных проводов или при коротком замыкании их автоматический контроль действует также и на сигнал. Контроль исправности проводов осуществлен наложением выпрямленного тока на переменный ток вспомогательных проводов с использованием быстродействующих реле.

В схеме защиты предусмотрен также автоматический и периодический контроль величины сопротивления изоляции вспомогательных проводов по отношению к земле.

Для отстройки защиты от действия разрядников в сетях с большими токами замыкания на землю при наличии заземленных нейтралей с обеих сторон защищаемой линии в защите используется реле тока нулевой последовательности. Принципиальная схема защиты линий в сетях с большими токами замыкания на землю приведена на рис. 1-1.

Для защиты линий в сети с изолированной нейтралью схема включения цепей тока дана на рис. 1-1,*е*. Вся остальная часть схемы не изменяется.

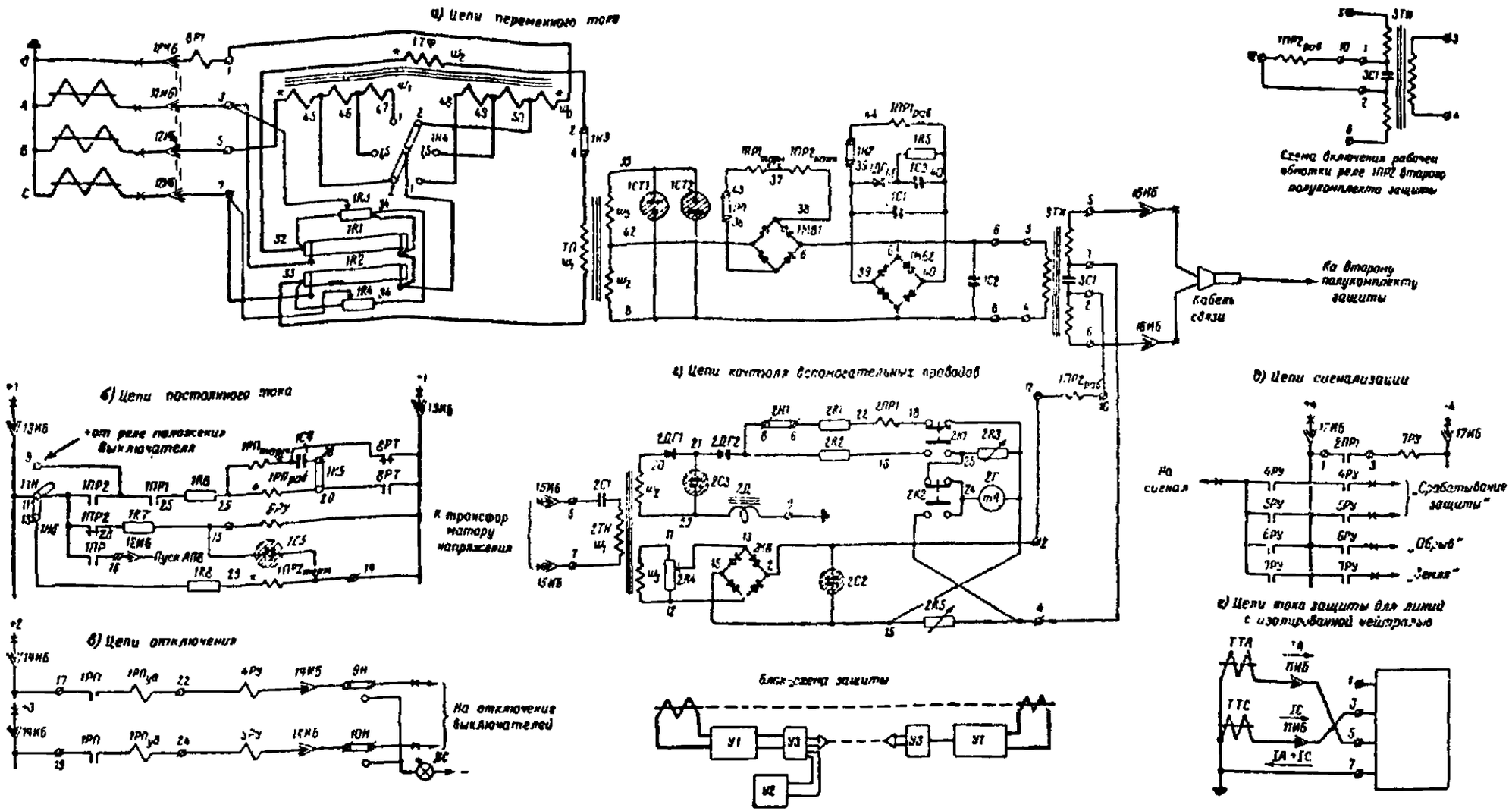


Рис. 1-1. Принципиальная развернутая схема продольной дифференциальной защиты линий типа ДЗЛ-1. При использовании защиты в сетях с малыми токами замыкания на землю реле *8РТ* исключается, а обмотка w_0 фильтра тока не используется. При питании защиты от двух трансформаторов тока средняя точка трансформаторов тока подводится к зажиму *5* устройства *У1*.

Схема включения цепей тока по рис. 1-1,*е* отличается от схемы рис. 1-1,*а* тем, что в ней использованы два трансформатора тока вместо трех и произведена круговая замена фаз тока на входных зажимах защиты. Последнее обеспечивает оптимальную чувствительность защиты при двойных замыканиях на землю фаз СА * на участках, где протекают токи нулевой последовательности.

Из схемы рис. 1-1,*е* видно, что для линий с разрядниками реле 8РТ исключается. В этом случае вместо реле 8РТ необходимо применить реле напряжения ЭН-563/60Д, включенное на напряжение нулевой последовательности $3U_0$.

1-2. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ

Конструктивно полукомплект защиты одного конца защищаемой линии состоит из комплектно поставляемых заводом устройств *1*, *2* и *3* (*У1*, *У2* и *У3*), токового реле *8РТ*, сигнальных реле *4РУ—7РУ*, переключающих устройств *9Н* и *10Н*, накладки *11Н* и испы-

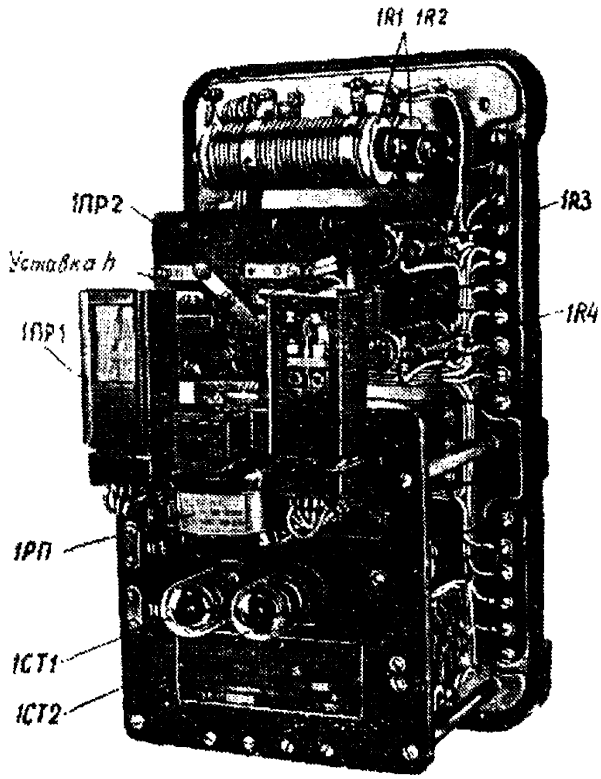


Рис. 1-2*а*. Общий вид устройства *У1*.

тательных блоков *12ИБ—17ИБ*. На втором конце защищаемой линии устанавливаются такие же элементы, за исключением *У2*.

* См. «Электричество», 1957, № 4 и 1959, № 12.

Устройство *У1* (рис. 1-2*а* и 2*б*, 1-3, 1-4) содержит следующие основные элементы защиты: комбинированный фильтр тока *1ТФ*, *1R1—1R4*, промежуточный трансформатор *1ТП*, дифференциальное реле *1ПР1*, выпрямительные мосты *1МВ1* и *1МВ2*, реле контроля исправности вспомогательных проводов *1ПР2*, промежуточное выходное реле *1РП*, газонаполненные стабилизаторы напряжения *1СТ1* и *1СТ2*, конденсаторы *1С1—1С5*, сопротивления *1R5—1R8* и накладки *1Н1—1Н6*. Все элементы, входящие в устройство *У1*, име-

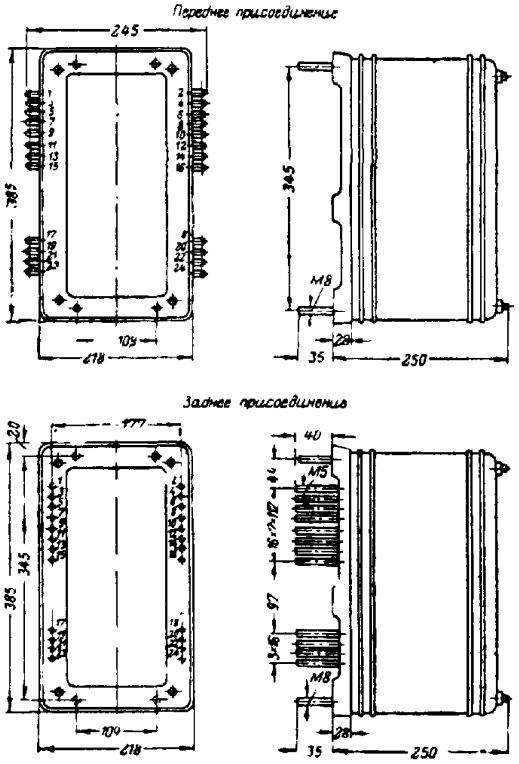


Рис. 1-2*б*. Габаритные и установочные размеры устройства *У1*.

ют маркировку, начинающуюся цифрой *1*. Общий вес устройства ~12 *кг*.

Устройство *У2* питания цепей контроля вспомогательных проводов и измерения их изоляции (рис. 1-5*а*, 1-5*б*, 1-6 и 1-7) устанавливается на одном из двух концов защищаемой линии со стороны ее основного питания[1] и подключается ко вторичной обмотке трансформатора напряжения с номинальным напряжением 100 *в*, присоединенного к шинам. Устройство *У2* содержит: насыщающийся стабилизированный трансформатор *2ТН*, последовательно с первичной обмоткой которого включен конденсатор *2С1*, потенциометр *2R4*, выпрямительный мост *2МВ*, одиночные выпрямители *2ДГ1* и *2ДГ2*, электролитические конденсаторы *2С2* и *2С3*, поляризованное реле

[1] Под этим термином понимается: кольцевая сеть, мощная электростанция или подстанция, имеющая многостороннее питание.

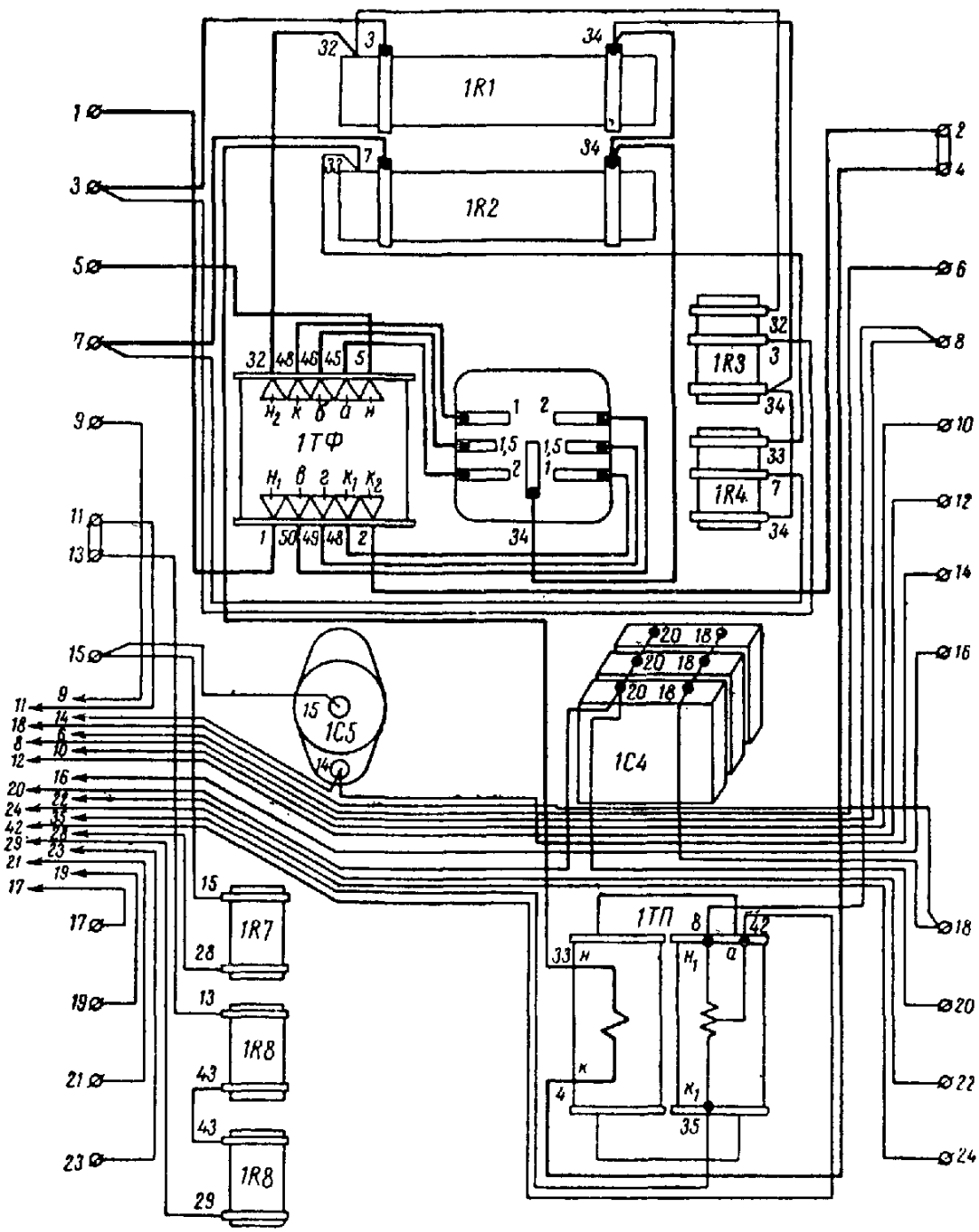


Рис. 1-3. Монтажная схема цоколя устройства *УІ*.

Соединения, показанные жирными линиями, выполнены проводом *ЛПЛ*-2 1,5; остальные — проводом *ЛПЛ*-2 0,5.

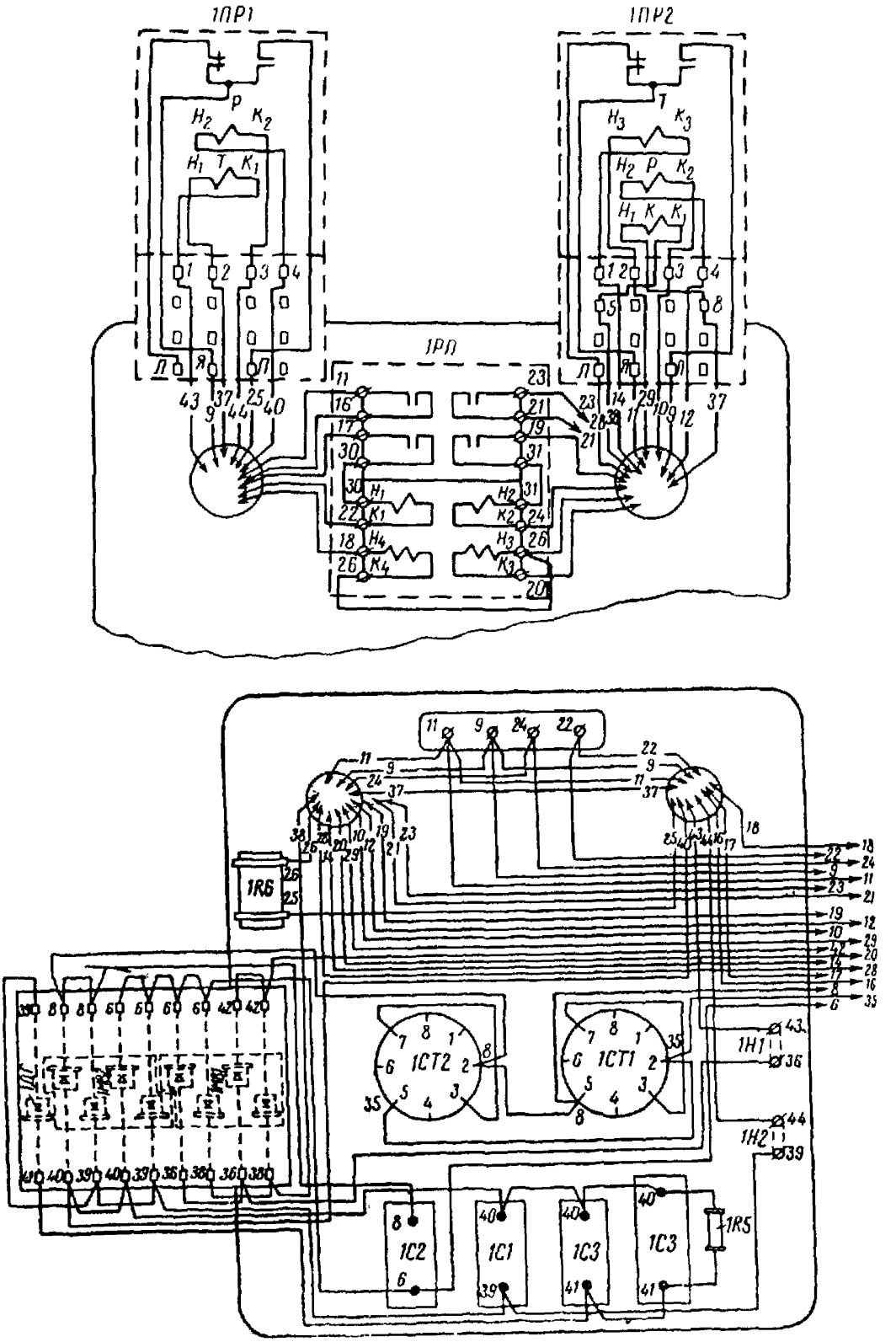


Рис. 1-4. Монтажная схема откидного плато устройства *У1*.
Лицевая (сверху) и задняя (снизу) стороны.

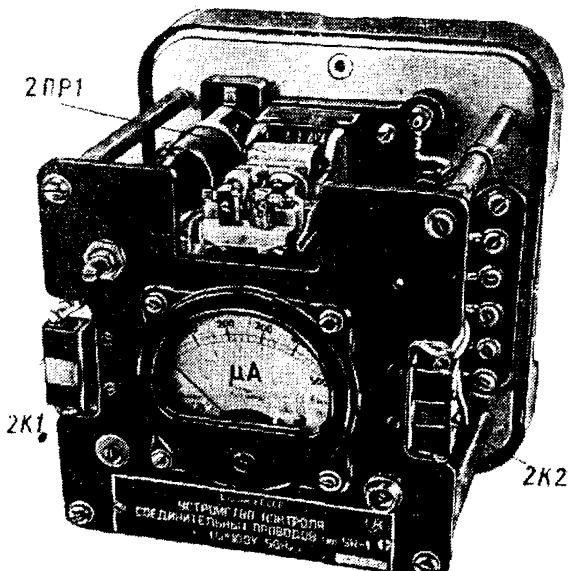


Рис. 1-5*а*. Общий вид устройства *У2*.

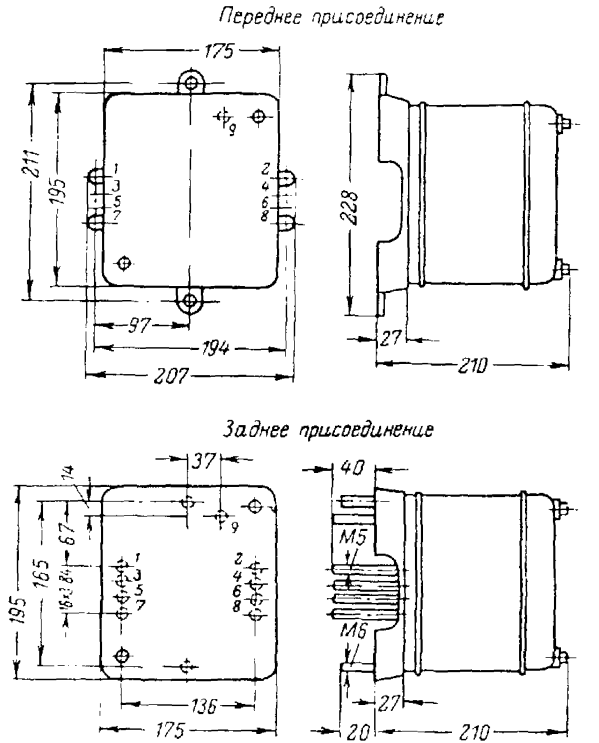


Рис. 1-5*б*. Габаритные и установочные данные устройства *У2*.

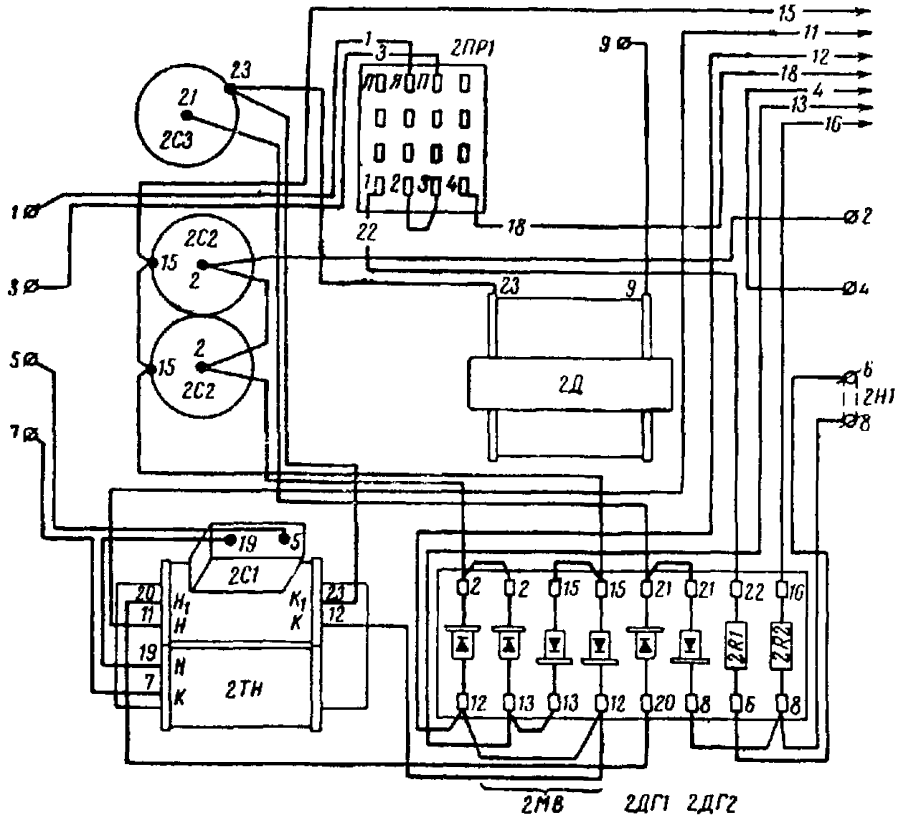


Рис. 1-6. Монтажная схема цоколя устройства *У2*.

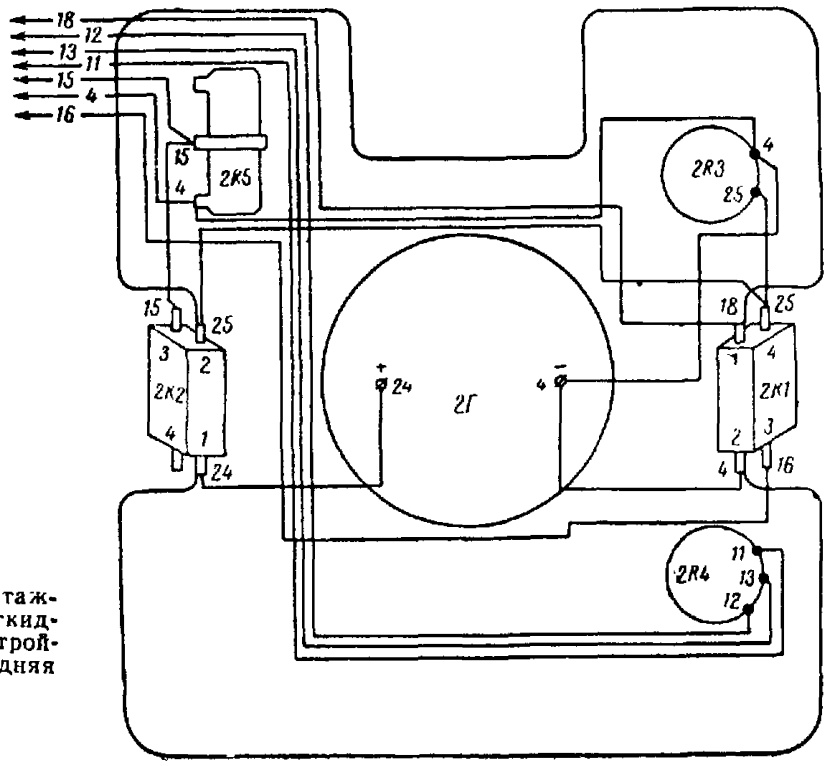


Рис. 1-7. Монтажная схема откидного плато устройства *У2*; (задняя сторона).

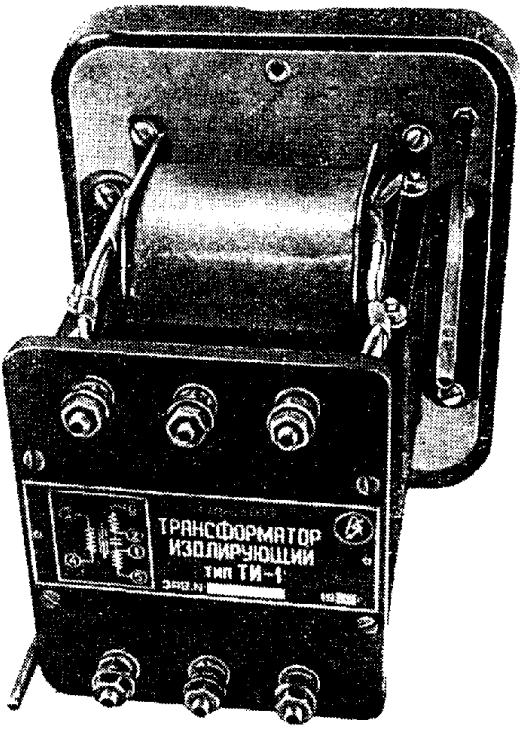


Рис 1-8*а*. Общий вид устройства *УЗ*.

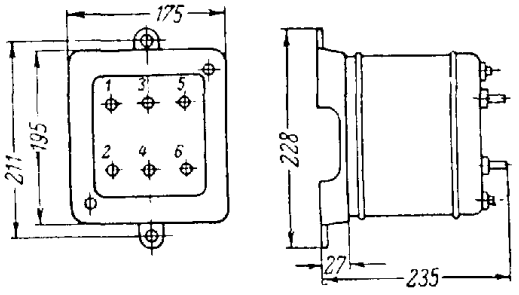


Рис. 1-8*б*. Габаритные и установочные размеры устройства *УЗ*.

автоматического контроля изоляции *2РП1* с добавочным сопротивлением *2R1*, дроссель *2Д*, микроамперметр *2Г* с шунтами *2R3* и *2R5* и добавочным сопротивлением *2R2* и кнопки переключения *2К1* и *2К2*. Все элементы, входящие в устройство *У2*, имеют маркировку, начинающуюся цифрой 2.

Общий вес комплекта ~ 4,5 *кг*.

Устройство *У3* (рис. 1-8*а* и 1-8*б*) состоит из изолирующего трансформатора *3ТИ* и разделительного конденсатора *3С1*.

Общий вес комплекта ~ 9 *кг*.

Остальные элементы защиты представляют собой стандартные заводские аппараты, которые монтируются с *У1*, *У2* и *У3* на общей панели защиты.

Основные технические и конструктивные данные элементов защиты приведены в приложении П-1.

1-3. КОМБИНИРОВАННЫЙ ФИЛЬТР ТОКА *1ТФ*, *1R1—1R4*

В защите применен активно-индуктивный комбинированный фильтр тока (рис. 1-9), с помощью которого трехфазная система токов преобразуется в однофазную. Фильтр подключается к трансформаторам тока защищаемой линии. Векторные диаграммы токов и напряжения фильтра приведены на рис. 1-10.

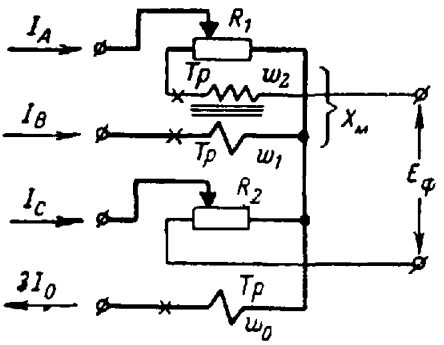


Рис. 1-9. Схема комбинированного фильтра тока.

Тр — трансреактор; w_1 и w_0 — витки первичных обмоток трансреактора; $w_0 = 1/3w_1$; w_2 — витки вторичной обмотки трансреактора; R_1 и R_2 — регулируемые сопротивления фильтра ($R_1 = R_2$); $X_м$ — сопротивление взаимной индукции между обмотками w_1 и w_2.

Электродвижущая сила на выходе фильтра пропорциональна составляющим прямой и обратной последовательности полного тока на его входе. Из векторной диаграммы рис. 1-10,*а* видно, что

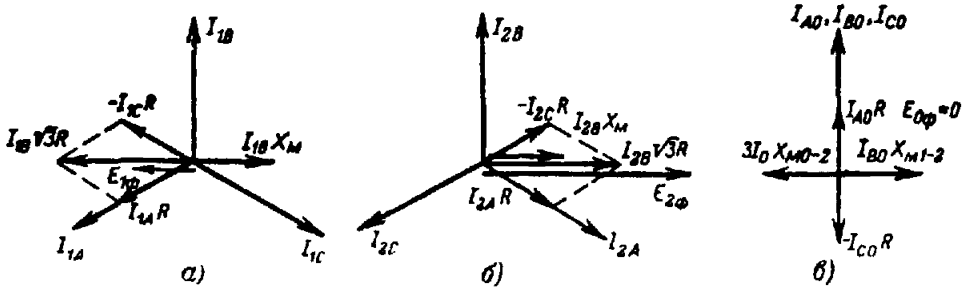


Рис. 1-10. Векторные диаграммы токов и напряжений комбинированного фильтра.

К фильтру подведена система токов *а* — прямой, *б* — обратной и *в* — нулевой последовательности.

э. д. с. на выходе фильтра при подведении к его входу системы токов прямой последовательности можно представить равенствами:

$$\dot{E}_{1\phi} = \dot{I}_{1B}X_{\text{м}}e^{-j90^\circ} - \dot{I}_{1C}R + \dot{I}_{1A}R = \dot{I}_{1B}X_{\text{м}}e^{-j90^\circ} + \\ + \dot{I}_{1B}\sqrt{3}Re^{-j90^\circ} = \dot{I}_{1B}e^{-j90^\circ}(X_{\text{м}} - \sqrt{3}R),$$

или, выполняя замену

$$k_1 = X_{\text{м}} - \sqrt{3}R, \tag{1}$$

получим:

$$\dot{E}_{1\phi} = k_1\dot{I}_{1B}e^{-j90^\circ}. \tag{2}$$

Из диаграммы рис. 1-10,б для случая, когда к фильтру подведена система токов обратной последовательности, можно написать:

$$\dot{E}_{2\phi} = \dot{I}_{2B}X_{\text{м}}e^{-j90^\circ} - \dot{I}_{2C}R + \dot{I}_{2A}R = \dot{I}_{2B}e^{-j90^\circ} + \\ + \dot{I}_{2B}\sqrt{3}Re^{-j90^\circ} = \dot{I}_{2B}e^{-j90^\circ}(X_{\text{м}} + \sqrt{3}R).$$

Аналогично предыдущему заменяем

$$k_2 = X_{\text{м}} + \sqrt{3}R, \tag{3}$$

получим:

$$\dot{E}_{2\phi} = k_2\dot{I}_{2B}e^{-j90^\circ}, \tag{4}$$

где I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, I_{2A}, I_{2B} и I_{2C} — токи прямой и обратной последовательностей фаз;

$E_{1\phi}$ и $E_{2\phi}$ — э. д. с., обусловленные соответственно системой токов прямой и обратной последовательностей;

$X_{\text{м}}$ — сопротивление взаимной индукции между обмотками w_1 и w_2 трансреактора *ТФ*.

Составляющие э. д. с., обусловленные токами нулевой последовательности, в фильтре тока исключаются вычитанием падений напряжений от токов фаз A и C и встречным включением обмоток w_1 и w_0. Обмотка w_1, включенная на полный ток фазы B, имеет число витков в 3 раза больше, чем обмотка w_0, включенная на ток $3I_0$.

В общем случае величина э. д. с. на выходе фильтра может быть выражена следующим равенством:

$$\dot{E}_{\phi} = \dot{E}_{1\phi} + \dot{E}_{2\phi} = k_1\dot{I}_{1B}e^{-j90^\circ} + k_2\dot{I}_{2B}e^{-j90^\circ} \tag{5}$$

или

$$\dot{E}_{\phi} = k_1e^{-j90^\circ}(\dot{I}_{1B} + k\dot{I}_{2B}), \tag{6}$$

где $k = \dfrac{k_2}{k_1}$.

В приведенных выражениях коэффициент k показывает, во сколько раз ток срабатывания защиты прямой последовательности больше тока срабатывания обратной последовательности. Коэффициент k фильтра принят отрицательным, что обеспечивает высокую чувствительность защиты при двухфазных замыканиях на землю.

Отрицательная величина k фильтра получена вследствие того, что для него принято $\sqrt{3}R > X_м$.

Для фильтра с выбранными соотношениями и отрицательным значением k насыщение стали при больших токах трехфазного короткого замыкания и обусловленное этим некоторое снижение величины $X_м$ может вызвать только увеличение значения k_1, т. е. увеличение чувствительности защиты к трехфазному току короткого замыкания.

Фильтр представляет собой трехобмоточный трансреактор с трехстержневым сердечником, с проволочными сопротивлениями *1R1—1R4*, намотанными на фарфоровые трубки. Сопротивления *1R3* и *1R4* имеют регулировку.

Обмотки трансреактора размещены на одном каркасе, расположенном на среднем сердечнике. В средней части этого сердечника имеется воздушный зазор, равный 3 *мм*, обеспечивающий большое магнитное сопротивление и почти линейную зависимость магнитного потока от первичного намагничивающего тока. Первичные обмотки w_1 и w_0 трансреактора выполнены с отпайками, с помощью которых можно:

а) увеличить ток срабатывания защиты в 1,5 и 2 раза (в h раз);

б) применять защиту при максимальных вторичных токах короткого замыкания 100, 150 и 200 *а*.

При максимальном вторичном токе короткого замыкания до 100 *а* используются все витки первичных обмоток $w_1=18$ и $w_0=6$. Максимальная магнитная индукция в сердечнике фильтра составляет при этом 12 500 *гс* и защита имеет наименьший ток срабатывания.

При максимальном вторичном токе короткого замыкания до 150 *а* используются отпайки обмоток $w_1=12$ и $w_0=4$; при этом ток срабатывания защиты возрастает в 1,5 раза; при токах до 200 *а* используются отпайки $w_1=9$ и $w_0=3$ и ток срабатывания возрастает в 2 раза.

Во всех случаях обеспечивается практически линейная зависимость э. д. с. фильтра от первичного тока.

Коэффициент фильтра k регулируется изменением сопротивлений *1R3* и *1R4* фильтра.

Схема фильтра построена так, что при регулировании величины k с помощью сопротивлений *1R3* и *1R4* изменяется только часть этих сопротивлений, обтекаемых током фаз *C* и *A*; полное сопротивление холостого хода фильтра $z_{х.ф}$ (измеренное со стороны выхода фильтра) остается при этом неизменным. Отмеченная особенность фильтра обеспечивает стабильность характеристик защиты при различных значениях коэффициента k. Величина сопротивлений *1R3*, *1R4* позволяет регулировать коэффициент k в пределах от —4 до —10. При регулировании величины k сопротивление, обтекаемое током фазы *C*, должно равняться сопротивлению, обтекаемому током фазы *A*. В табл. 1-1 приведены расчетные значения э. д. с. фильтра

Таблица 1-1

Зависимость э. д. с. фильтра и относительного тока срабатывания защиты от вида короткого замыкания

Вид короткого замыкания	Значение токов				$\dot{E}_ф=\dot{I}_B X_м e^{-j90°}+(\dot{I}_A-\dot{I}_C)R+3\dot{I}_0\frac{X_м}{3}e^{-j90°}$	$E_ф$		$n=\frac{E_ф^{**}}{E_{ф.B0}}$		$\frac{1}{n}=\frac{I_{ср}^{***}}{I_{ср.B0}}$	
	I_A	I_B	I_C	$3I_0$		$k=-4$ $R^*=0{,}962X_м$	$k=-10$ $R^*=0{,}705X_м$	$k=-4$	$k=-10$	$k=-4$	$k=-10$
$A0$	I_A	0	0	$-I_A$	$\dot{I}_A R-\dot{I}_A\frac{X_м}{3}e^{-j90°}=\left(R-\frac{X_м}{3}e^{-j90°}\right)\dot{I}_A$	$1{,}02X_м I_A$	$0{,}78X_м I_A$	1,53	1,17	0,653	0,855
$B0$	0	I_B	0	$-I_B$	$\dot{I}_B X_м e^{-j90°}-\dot{I}_B\frac{X_м}{3}e^{-j90°}=\frac{2}{3}X_м e^{-j90°}\dot{I}_B$	$0{,}667X_м I_B$	$0{,}667X_м I_B$	1	1	1	1
$C0$	0	0	I_C	$-I_C$	$-\dot{I}_C R-\dot{I}_C\frac{X_м}{3}e^{-j90°}=-\left(R+\frac{X_м}{3}e^{-j90°}\right)\dot{I}_C$	$1{,}02X_м I_C$	$0{,}78X_м I_C$	1,53	1,17	0,653	0,855

* Величины R найдены из выражения $R=\frac{(k-1)X_м}{(k+1)\sqrt{3}}$ для $k=-4$ и $k=-10$.

** Найдено из условия равных токов короткого замыкания для всех видов повреждений.

*** Принято, что $E_{ф.B0}$ равно э. д. с. фильтра при срабатывании защиты.

Продолжение табл. 1-1

Вид короткого замыкания	Значение токов				$\dot{E}_\Phi = \dot{I}_B X_M e^{-j90^\circ} + (\dot{I}_A - \dot{I}_C) R + 3\dot{I}_0 \frac{X_M}{3} e^{-j90^\circ}$	E_Φ		$n = \frac{E_\Phi^{**}}{E_{\Phi.B0}}$		$\frac{1}{n} = \frac{I_{ср}^{***}}{I_{ср.B0}}$	
	I_A	I_B	I_C	$3I_0$		$k=-4$ $R^*=0{,}962X_M$	$k=-10$ $R^*=0{,}705X_M$	$k=-4$	$k=-10$	$k=-4$	$k=-10$
AB	I_A	$-I_A$	0	0	$-\dot{I}_A X_M e^{-j90^\circ} + \dot{I}_A R = (R - X_M e^{-j90^\circ}) \dot{I}_A$	$1{,}39 X_M I_A$	$1{,}22 X_M I_A$	2,08	1,83	0,48	0,547
AC	I_A	0	$-I_A$	0	$\dot{I}_A R + \dot{I}_A R = 2R\dot{I}_A$	$1{,}924 X_M I_A$	$1{,}41 X_M I_A$	2,89	2,11	0,346	0,474
BC	0	I_B	$-I_B$	0	$\dot{I}_B X_M e^{-j90^\circ} + \dot{I}_B R = (X_M e^{-j90^\circ} + R) \dot{I}_B$	$1{,}39 X_M I_B$	$1{,}22 X_M I_B$	2,08	1,83	0,48	0,547
ABC	I_A	I_B	I_C	0	$\dot{I}_B X_M e^{-j90^\circ} + (\dot{I}_A - \dot{I}_C) R = (X_M - \sqrt{3} R) e^{-j90^\circ} \dot{I}_B$	$0{,}667 X_M I_B$	$0{,}22 X_M I_A$	1	0,33	1	3,03
ACB	I_A	I_C	I_B	0	$\dot{I}_C X_M e^{-j90^\circ} + (\dot{I}_A + \dot{I}_B) R = (X_M + \sqrt{3} R) e^{-j90^\circ} \dot{I}_C$	$2{,}67 X_M I_A$	$2{,}22 X_M I_A$	4	3,33	0,25	0,3

и относительной чувствительности защиты для различных видов короткого замыкания при $k=-4$ и $k=-10$.

Принятый тип фильтра прост в наладке, надежен в эксплуатации и обеспечивает более высокую чувствительность защиты при междуфазовых коротких замыканиях по сравнению с фильтром типа $\dot{I}_1+k\dot{I}_0$.

Недостатком фильтра является пониженная чувствительность защиты при однофазных коротких замыканиях на землю по сравнению с двухфазными короткими замыканиями.

1-4. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР *1ТП*

Трансформатор служит для согласования низкоомного сопротивления вторичной цепи фильтра с остальной частью защиты и повышает напряжение, подводимое к газонаполненным стабилизаторам напряжения. Конструктивно трансформатор *1ТП* представляет собой малогабаритный промежуточный трехобмоточный трансформатор, коэффициенты трансформации которого составляют:

$$n_{ТП1}=\frac{w_2}{w_1}=25$$

и

$$n_{ТП2}=\frac{w_2+w_3}{w_1}=200,$$

где w_1, w_2 и w_3 — число витков соответственно первичной и вторичных обмоток трансформатора (см. рис. 1-1).

1-5. СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ *1СТ1* и *1СТ2*

Газонаполненные стабилизаторы *1СТ1* и *1СТ2* служат в защите для ограничения напряжения, подаваемого в дифференциальное реле *1ПР1* и вспомогательные провода. Э. д. с. фильтра имеет линейную зависимость от тока короткого замыкания, и при отсутствии стабилизаторов напряжение на первичной обмотке изолирующего трансформатора *3ТИ* могло бы достигнуть 400 *в*, что недопустимо по условию изоляции вспомогательных проводов. Тлеющий разряд стабилизаторов в схеме защиты начинается при токе короткого замыкания, кратность которого к току срабатывания составляет 2—2,5. При максимально допустимых для защиты вторичных токах короткого замыкания $I^{(3)}=100$ *а* (при $h=1$) максимальное напряжение на первичной обмотке изолирующего трансформатора *3ТИ* при применении стабилизаторов напряжения не превосходит 25 $в_{действ}$, а на вторичной обмотке 68 $в_{действ}$.

Стабилизация напряжения обеспечивает стабильность характеристики реле *1ПР1*, облегчает отстройку реле контроля от вибраций, обусловленных переменным током, протекающим по его рабочей обмотке, и позволяет применять в качестве вспомогательных проводов защиты сравнительно дешевый телефонный кордельный кабель или кабель городского типа.

После зажигания стабилизаторов э. д. с. фильтра, а следовательно, и его мощность расходуются главным образом во вторичной цепи фильтра тока.

В каждом полукомплекте защиты применено по два газонаполненных стабилизатора напряжения типа СГ4С, тлеющий разряд в которых возникает при 108—110 $в_{действ}$ переменного напряжения. У стабилизаторов этого типа напряжение зажигания зависит от полярности тока. В связи с использованием их в цепях переменного тока защиты стабилизаторы соединены между собой параллельно и разнополярно. При максимальных токах короткого замыкания ток в каждом стабилизаторе не превосходит 40 *ма* при длительно допустимом токе стабилизатора 30 *ма*.

1-6. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ РЕЛЕ *1ПР1* И ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ МОСТЫ *1МВ1* и *1МВ2*

В качестве дифференциального реле защиты *1ПР1* использовано двухобмоточное поляризованное реле типа РП-7. Реле этого типа имеют большую стабильность по току срабатывания и возврата и малую мощность срабатывания (5 *Мвт*). Момент на подвижной системе реле пропорционален току в его обмотке.

Схема включения и действие реле *1ПР1* аналогичны схеме включения и действию дифференциальных реле защит *РДЛ* и *НСВ*.

Одна из обмоток реле *1ПР1* используется в качестве рабочей (обмотка напряжения), а вторая — тормозной (обмотка тока).

Каждая обмотка реле включена через свой выпрямительный мост (см. рис. 1-1). Выпрямительный мост *1МВ1* и тормозная обмотка реле включены на ток, пропорциональный току циркуляции во вспомогательных проводах. Магнитный поток этой обмотки создает на оси реле тормозной момент. Рабочая обмотка реле включена через выпрямительный мост *1МВ2* параллельно обмотке трансформатора *3ТИ* на напряжение, пропорциональное напряжению вспомогательных проводов.

Магнитный поток рабочей обмотки создает на оси реле момент, действующий на замыкание контактов. Ток срабатывания реле *1ПР1* при отключенной обмотке тока составляет 2,5 *ма*. Коэффициент возврата реле равен 0,4—0,5; расстояние между контактами отрегулировано на величину 0,4—0,5 *мм*. Выпрямительные мосты *1МВ1* и *1МВ2* выполнены с помощью германиевых диодов типа *Д7Г* с одним диодом в каждом плече. Диоды этого типа допускают обратное напряжение 125 *в* ($t=50°$ С) при длительном выпрямленном токе 0,3 *а*. Значительная величина сопротивления рабочей обмотки реле *1ПР1* ($R_{раб}=1\,250$ *ом*) по сравнению с прямым сопротивлением диодов (200 *ом* при токе 2 *ма* и $t=20°$ С) обеспечивает высокий коэффициент полезного действия схемы выпрямитель — реле и снижает зависимость напряжения срабатывания реле от колебаний температуры окружающей среды.

В нормальном режиме работы линии электропередачи и при внешних коротких замыканиях во вспомогательных проводах и тормозной обмотке реле *1ПР1* протекает значительный ток, а напряжения на рабочей обмотке реле и между вспомогательными проводами малы (см. рис. 1-11÷1-13). При этом результирующий момент на реле является тормозным и реле не действует.

При коротком замыкании на защищаемой линии сравнительно с рассмотренным режимом ток в тормозной обмотке реле *1ПР1* и во вспомогательных проводах значительно снижается, а напряжения на рабочей обмотке и между вспомогательными проводами по-

вышаются, вызывая срабатывание реле *1ПР1* и действие защиты на отключение. Реле *1ПР1* можно рассматривать так же, как реле полного максимального сопротивления с круговой характеристикой в плоскости с осями R и jX. При этом значительно упрощаются понимание работы реле и расчет его параметров. В полной схеме защиты реле *1ПР1* измеряет входное сопротивление кабельной линии вспомогательных проводов, приведенное к первичной обмотке трансформатора *3ТИ*.

Анализ показал, что входное сопротивление кабельной линии вспомогательных проводов зависит от ее сопротивления постоянно-

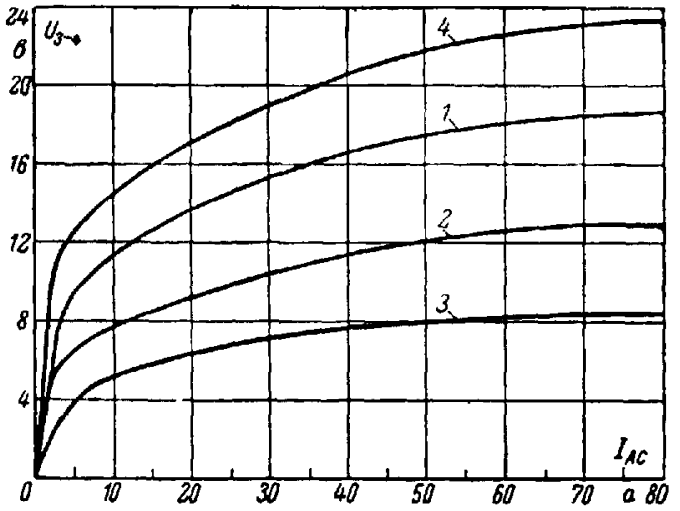


Рис. 1-11. Зависимость напряжения на рабочей обмотке реле *1ПР1* от тока короткого замыкания $I_{АС}$; $h=1$; $k=-6$; $R_{пр}=1\,400$ *ом*; $C_{пр}=1{,}05$ *мкф*.
1 — режим одностороннего питания, напряжение на питающем полукомплекте; *2* — режим одностороннего питания, напряжение на приемном полукомплекте; *3* — режим внешнего короткого замыкания; *4* — режим двустороннего питания; короткое замыкание в зоне.

му току и рабочей емкости, сопротивления холостого хода фильтра, сопротивления цепей напряжения и тока реле *1ПР1*, а также режима работы линии электропередачи.

В нормальном режиме работы линии и при внешних коротких замыканиях по вспомогательным проводам защиты циркулирует переменный ток, при этом их входное сопротивление определяется сопротивлением проводов постоянному току, которое обычно невелико. При коротком замыкании на защищаемой линии электропередачи с двусторонним питанием и равными токами по концам этой линии циркуляция токов во вспомогательных проводах прекращается и ее входное сопротивление определяется рабочей емкостью. Последняя обычно мала, и поэтому ее входное сопротивление велико. В режиме короткого замыкания на защищаемой линии с односторонним питанием входное сопротивление вспомогательных проводов определяется ее сопротивлением постоянному току, рабочей емкостью, а также сопротивлением элементов защиты (сопротивлени-

ем цепи напряжения реле *1ПР1* и сопротивлением холостого хода фильтра тока). Сопротивление срабатывания реле *1ПР1* должно превышать входное сопротивление вспомогательных проводов при внешнем коротком замыкании и быть меньше входного сопротивления этих проводов при коротком замыкании в зоне.

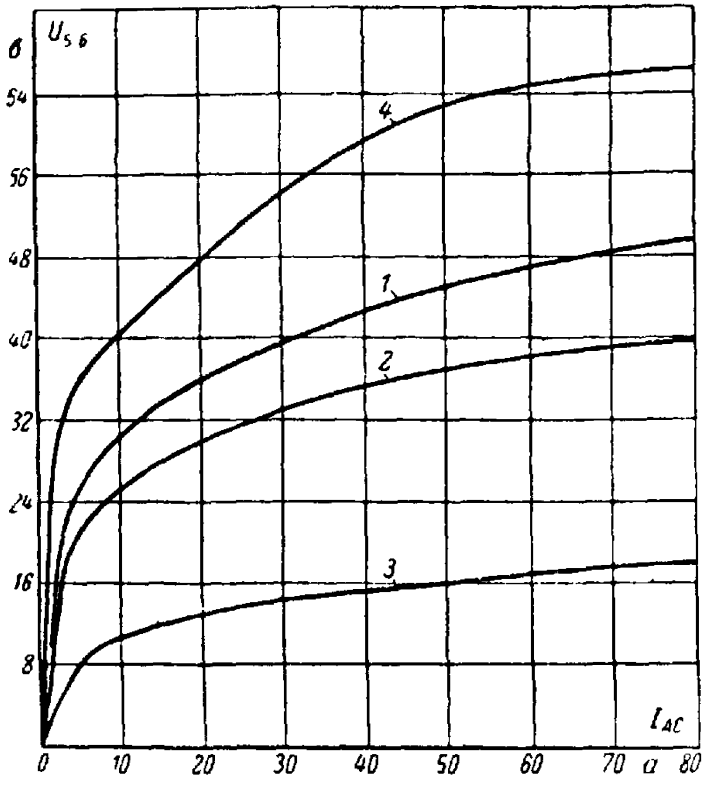


Рис. 1-12. Зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформатора *3ТИ* и между вспомогательными проводами от тока короткого замыкания I_{AC}; $h = 1$; $k = -6$; $R_{пр} = 1\,400$ *ом*; $C_{пр} = 1{,}05$ *мкф*.
1 — режим одностороннего питания, напряжение на питающем полукомплекте; *2* — режим одностороннего питания, напряжение на приемном полукомплекте; *3* — режим внешнего короткого замыкания; *4* — режим двустороннего питания, короткое замыкание в зоне.

Вывод уравнения характеристики реле (рис. 1-14) $z_{ср} = f(\varphi)$, где φ — угол измеряемого полного сопротивления, приведен в приложении П-7. Выражение (П-7-2) показывает, что характеристика реле $z_{ср} = f(\varphi)$ представляет собой окружность, центр которой лежит на оси R прямоугольных координат R, j, X и смещен относительно начала координат на величину R_0:

$$R_0 = \frac{R_н w_т^2}{\left(w_н - \dfrac{A w_{ср} R_н}{U_{л.ср}}\right)^2 - w_т^2}. \qquad (П\text{-}7\text{-}3)$$

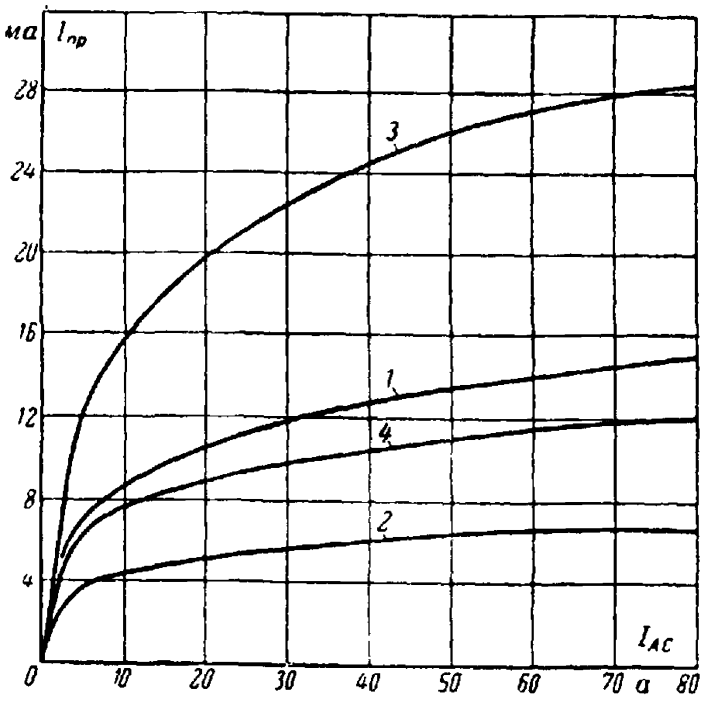


Рис. 1-13. Зависимость тока $I_{пр}$ во вспомогательных проводах от тока короткого замыкания $I_{АС}$; $h = 1$; $k = -6$; $R_{пр} = 1\,400$ ом; $C_{пр} = 1{,}05$ мкф.
1 — режим одностороннего питания, ток со стороны питающего полукомплекта; *2* — режим одностороннего питания, ток со стороны приемного полукомплекта; *3* — режим внешнего короткого замыкания; *4* — режим двустороннего питания, короткое замыкание в зоне.

Радиус окружности

$$r = R_0 \left(\frac{w_н}{w_т} - \frac{A w_{ср} R_н}{w_т U_{л.ср}} \right) , \qquad (П\text{-}7\text{-}5)$$

где $w_н$ и $w_т$ — соответственно число витков обмоток напряжения и тока реле *1ПР1*;

$R_н$ — сопротивление цепи напряжения, равное сопротивлению обмотки напряжения реле *1ПР1* и прямому сопротивлению двух диодов выпрямительного моста *1МВ2*;

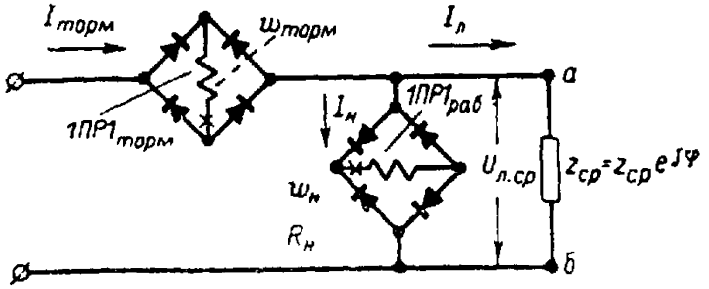


Рис. 1-14. Схема и токораспределение в реле *1ПР1*.

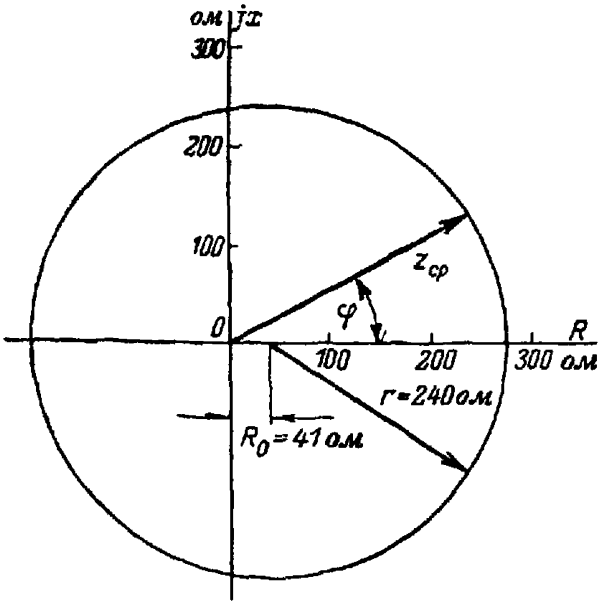


Рис. 1-15. Характеристика реле *ИПР1* $z_{ср} = f(\varphi)$ при $U'_{л.ср} = 13$ в.

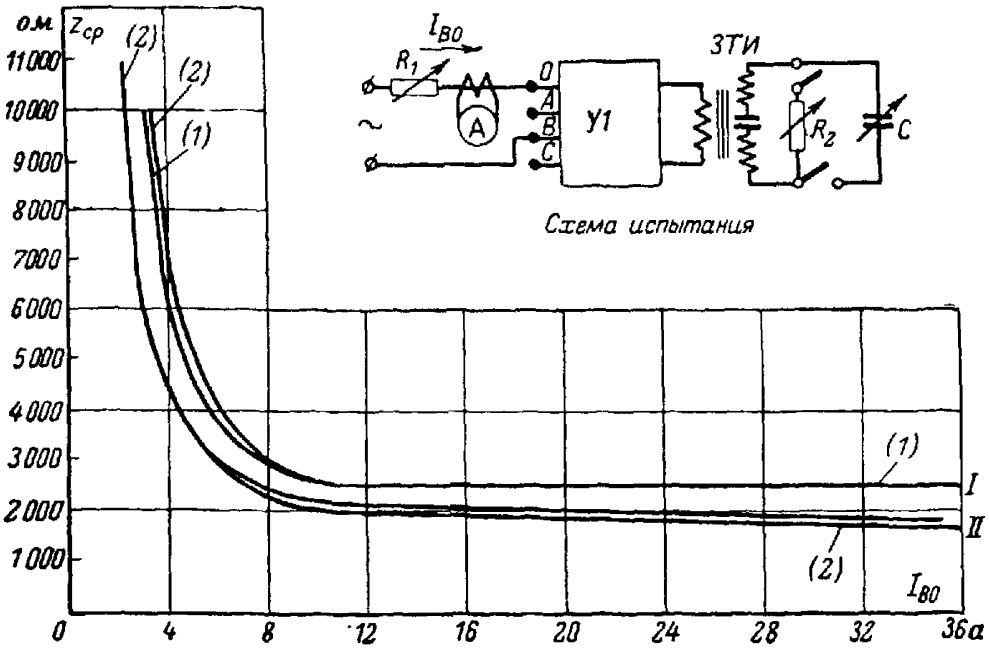


Рис. 1-16. Зависимость $z_{ср}$ **полукомплектов защиты** *1* **и** *2* **от тока короткого замыкания** $I_{ВО}$.

I — характеристики сняты при $z_{ср} = R_э$; *II* — характеристики сняты при $z_{ср} = \frac{1}{\omega C}$. Над кривыми расположена область действия реле *ИПР1*.

$Aw_{ср}$ — ампервитки срабатывания реле *1ПР1* при обесточенной обмотке тока;

$U_{л.ср}$ — напряжение срабатывания реле *1ПР1* в полной схеме защиты.

По величинам $w_п$, $w_т$, $R_н$, $Aw_{ср}$ для реле *1ПР1* (см. табл. П-1-1 и приложение П-7) при $U_{л.ср}=13$ *в* на основе уравнений (П-7-3) и (П-7-5) найдены значения R_0 и r и на рис. 1-15 построена характеристика реле $z_{ср}=f(\varphi)$. Как указано выше, в схеме защиты реле *1ПР1* работает как реле максимального сопротивления и срабатывает, когда измеряемое сопротивление, включенное со стороны вторичной обмотки трансформатора *3ТИ*, равно или больше 2 000 *ом*. Мощность, потребляемая реле *1ПР1* при срабатывании, а также зависимость прямого сопротивления диодов от тока обусловливают зависимость сопротивления срабатывания реле от напряжения, действующего в схеме защиты. До зажигания стабилизаторов *1СТ1* и *1СТ2* это напряжение изменяется пропорционально току на входе фильтра. После зажигания стабилизаторов напряжение на рабочей обмотке реле *1ПР1* остается практически неизменным, что обеспечивает линейность характеристики $z_{ср}=f(I_{к\,з})$. На рис. 1-16 приведена измеренная зависимость $z_{ср}=f(I_{во})$ реле *1ПР1*, полученная при замыкании вторичной обмотки трансформатора *3ТИ* сопротивлением ($\varphi_1=0°$) и затем емкостью ($\varphi_2=-90°$).

Из рис. 1-16 видно, что при $\varphi_2=-90°$ $z_{ср}$ несколько снижается по сравнению со случаем, когда $\varphi=0°$, что соответствует характеристике, приведенной на рис. 1-15. Из уравнений (П-7-3) и (П-7-5) видно, что при отклонении обмоточных данных и величин сопротивлений обмоток от номинальных сопротивление срабатывания реле *1ПР1* изменяется. Зависимость действия реле *1ПР1* от режима работы линии электропередачи рассмотрена в разделе 1-15.

1-7. КОНДЕНСАТОРЫ *1С1*, *1С2* и *1С5*

Конденсатор *1С1* емкостью 4 *мкф*, включенный параллельно рабочей обмотке реле *1ПР1*, служит для снижения переменной составляющей тока в рабочей обмотке реле. При наличии конденсатора практически устраняется вибрация контактов реле в момент срабатывания, улучшаются тормозные характеристики защиты и несколько увеличивается время действия реле *1ПР1*. Благодаря замедлению срабатывания реле *1ПР1* в большинстве случаев исключается замыкание цепи выходного реле или уменьшается время ее замкнутого состояния при обрыве вспомогательных проводов.

Конденсатор *1С2* емкостью 2 *мкф*, включенный параллельно первичной обмотке изолирующего трансформатора *3ТИ*, повышает чувствительность и улучшает тормозные характеристики защиты при малой емкости вспомогательных проводов.

Электролитический конденсатор *1С5* емкостью 200 *мкф* замедляет время срабатывания указательного реле *6РУ*, обеспечивая срабатывание последнего только при обрыве или металлическом замыкании вспомогательных проводов. При отсутствии конденсатора *1С5* из-за переходных процессов, возникающих во вспомогательных проводах, реле *6РУ* может срабатывать при кратковременном возврате реле *1ПР2* в начале или в конце внешнего короткого замыкания.

Кратковременное замыкание контактов реле *1ПР2* в цепи *6РУ* может происходить также из-за вибрации контактов при больших токах внешнего короткого замыкания.

1-8. ВЫХОДНОЕ РЕЛЕ *1РП*

Выходное реле *1РП* имеет четыре обмотки: две параллельные и две последовательные. Параллельные обмотки с равным числом витков включены разнополярно через добавочное сопротивление *1R6*. Одна из параллельных обмоток является рабочей, а вторая, включенная последовательно с конденсатором *1С4*, — тормозной. Последовательные обмотки реле удерживают реле в сработавшем состоянии до отключения выключателей, и их полярность должна соответствовать полярности рабочей обмотки.

При отключенной тормозной обмотке время действия реле составляет 20—25 *мсек*. Реле действует, если продолжительность импульса постоянного тока, поданного на параллельную обмотку, составляет не менеее 7 *мсек*.

Реле *1РП* с временем срабатывания 20—25 *мсек* применяется в случае, если на защищаемой линии отсутствуют разрядники и можно не считаться с возможностью многократных прерывистых обрывов вспомогательных проводов (многократный обрыв и восстановление с очень малыми промежутками времени).

Для линий, защищенных разрядниками, а также во всех случаях, когда необходимо считаться с возможностью многократных прерывистых обрывов вспомогательных проводов, время действия выходного реле должно быть увеличено до 50 *мсек*.

В последнем случае на параллельную обмотку реле могут подаваться импульсы длительностью до 40 *мсек*, которые не должны вызывать срабатывания выходного реле.

Увеличение времени действия реле *1РП* достигается включением тормозной обмотки реле последовательно с конденсатором *1С4*, что выполняется замыканием накладки *1Н5*.

При включении тормозной обмотки с конденсатором зарядный ток конденсатора замедляет нарастание магнитного потока в реле, вызывая увеличение времени его действия.

Для линии с разрядниками, когда в выходном реле используются рабочая и тормозная обмотки, обе удерживающие обмотки должны быть исключены. Последнее обусловлено тем, что в этом случае невозможно согласовать полярность параллельных и удерживающих обмоток, так как в одном случае (когда реле *8РТ* не действует) в работе участвует тормозная обмотка реле, а в другом — рабочая. В рассматриваемом случае время возврата реле *1РП* составляет более 0,1 *сек*, что обеспечивает надежное отключение выключателей без удерживающих обмоток.

Вывод из действия удерживающих обмоток осуществляется отсоединением контактов *1РП* от этих обмоток и подключением контактов к зажимам *22* и *24*.

1-9. УКАЗАТЕЛЬНЫЕ РЕЛЕ *4РУ*, *5РУ*, *6РУ* и *7РУ*

Последовательные указательные реле *4РУ* и *5РУ* действуют на сигнал при работе защиты на отключение.

Последовательное реле *6РУ* типа ЭС-21/0,025 с добавочным сопротивлением *1R7* сигнализирует обрыв вспомогательных проводов.

Это же реле сигнализирует металлическое замыкание между вспомогательными проводами в том полукомплекте, где отсутствует устройство питания контроля.

Параллельное реле *7РУ*, которое действует при срабатывании поляризованного реле *2ПР1*, сигнализирует о снижении изоляции вспомогательных проводов относительно земли до величины меньше 20 000 *ом*.

1-10. РЕЛЕ ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ *8РТ*

Реле *1ПР1* в схеме защиты имеет медленный возврат (25—36 *мсек*) и поэтому не обеспечивает обычными средствами отстройку защиты от многократного действия разрядников.

В связи с этим для линий в сетях с большими токами замыкания на землю в защите предусмотрено применение токового реле типа ЭТ-523/2, включенного на ток нулевой последовательности. Включение контактов реле *8РТ* показано на рис. 1-1,*б*. При междуфазовых повреждениях реле *8РТ* не действует и его размыкающий контакт обеспечивает действие защиты. При коротких замыканиях на землю реле *8РТ* срабатывает и, замыкая замыкающий контакт, образует цепь для действия защиты на отключение. При многократной работе разрядников реле *8РТ*, срабатывая при каждом действии разрядника, быстро (8—10 *мсек*) возвращается при каждом погасании разрядника, что вызывает перезарядку конденсатора *1С4* и препятствует накоплению магнитной энергии в реле *1РП*.

Использование реле *8РТ* позволяет применить для защиты в качестве выходного промежуточное реле с временем срабатывания, не превышающим 60 *мсек*.

Для линий в сети с изолированной нейтралью вместо реле *8РТ* должно применяться реле *8ЭН* типа ЭН-563/60Д, включенное на напряжение $3U_0$. Контакты реле *ЭН* включаются аналогично реле *8РТ*.

Недостаток применения реле *8ЭН* заключается в возможности отказа в действии блокировки при работе разрядников в случае длительного замыкания на землю в сети.

1-11. ИЗОЛИРУЮЩИЙ ТРАНСФОРМАТОР *3ТИ* И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЙ КОНДЕНСАТОР *3С1*

Изолирующий трансформатор *3ТИ* электрически изолирует вспомогательные провода от остальной части устройств защиты и согласовывает входное сопротивление вспомогательных проводов с полным сопротивлением полукомплекта защиты, измеренным между зажимами *6* и *8* (рис. 1-1,*а*).

Коэффициент трансформации трансформатора равен 3; при этом токи в первичной обмотке, подключенной к конденсатору *1С2*, в три раза больше токов во вторичной обмотке, подключаемой ко вспомогательным проводам.

Вторичная обмотка трансформатора выполнена из двух равных секций, между которыми включен разделительный конденсатор *3С1* емкостью 10 *мкф*. Конденсатор разделяет цепи переменного тока защиты и наложенного выпрямленного тока контроля исправности вспомогательных проводов.

Конденсатор *3С1* встроен в трансформатор *3ТИ*, который конструктивно оформлен в виде отдельного устройства защиты.

1-12. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ИСПРАВНОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

На линии с двусторонним питанием с уставками защиты $h=1$ и $k=-4$ ток срабатывания защиты при трехфазном коротком замыкании составляет *2а*. В связи с высокой чувствительностью защиты при обрыве вспомогательных проводов реле *1ПР1* может сработать, если ток нагрузки равен или превышает 1 *а*. Неправильное действие защиты в этом случае исключается быстродействующим автоматическим контролем исправности вспомогательных проводов.

Устройство автоматического контроля построено на принципе постоянной циркуляции выпрямленного тока, наложенного на переменный ток вспомогательных проводов.

Выпрямленный ток протекает по цепи, состоящей из последовательно включенных обмоток реле контроля *1ПР2* и вспомогательных проводов. Реле *1ПР2* встроены в устройства *У1* по обоим концам защищаемой линии. Замыкающие контакты реле *1ПР2* включены в цепь шунтовой обмотки выходного реле *1РП* (см. рис. 1-1).

При металлическом замыкании между вспомогательными проводами реле автоматического контроля *1ПР2*, установленное со стороны, где отсутствует устройство питания, действует на сигнал.

При обрыве вспомогательных проводов реле *1ПР2* обесточиваются и быстро размыкают свои контакты в цепи выходного реле, а реле *1ПР1* под действием тока нагрузки срабатывают и замыкают свои контакты в той же цепи. В относительно редких случаях при однократном обрыве вспомогательных проводов реле *1ПР2* не успевает разомкнуть свои контакты раньше, чем замкнутся контакты реле *1ПР1*. При этом импульс постоянного тока, подаваемый на выходное реле, не превышает 1 *мсек*. При многократных кратковременных обрывах и последующих замыканиях вспомогательных проводов максимальная длительность импульса постоянного тока в цепи выходного реле не превышает 18 *мсек*.

При обрыве вспомогательных проводов реле *1ПР2* обеспечивается и действует на сигнал через указательное реле *6РУ*.

В качестве реле контроля *1ПР2* в защите применено трехобмоточное поляризованное реле типа РП-7. Основная рабочая обмотка этого реле обтекается выпрямленным током, наложенным на переменный ток вспомогательных проводов. Под действием этого тока реле замыкает свои замыкающие контакты.

Обрыв вспомогательных проводов не вызывает немедленного прекращения тока в рабочей обмотке реле. В этом режиме во вспомогательных проводах защиты, с той стороны, где установлено устройство питания, в течение некоторого времени по рабочей обмотке протекает ток переходного процесса, обусловленный подзарядом конденсатора *3С1* до напряжения источника питания. На приемном конце линии вспомогательных проводов при обрыве их происходит разряд конденсатора *3С1* на рабочую обмотку реле *1ПР2*.

Реле *1ПР2* размыкает контакты, когда ток переходного процесса достигает величины тока возврата реле. Для ускорения возврата реле *1ПР2* при обрыве вспомогательных проводов используется вторая — тормозная обмотка реле, которая включена через добавочное сопротивление *1R8* на напряжение постоянного тока. При номинальном напряжении 110 *в* добавочное сопротивление составляет 5 000 *ом*, а при напряжении 220 *в* — 10 000 *ом*. Тормозная обмотка повышает в 1,5 раза коэффициент возврата реле.

Третья обмотка реле — компенсационная — включена последовательно с тормозной обмоткой дифференциального реле *1ПР1* и обтекается выпрямленным током, величина которого пропорциональна переменному току, протекающему во вспомогательных проводах. Магнитный поток компенсационной обмотки действует в сторону срабатывания реле *1ПР2* согласно с рабочей обмоткой. Компенсационная обмотка реле служит для устранения вибраций и отброса контактов реле при коротких замыканиях в зоне защиты. Вибрацию контактов реле *1ПР2* вызывает переменный ток в рабочей обмотке реле, величина которого пропорциональна падению напряжения на конденсаторе *3С1* при протекании по нему переменного тока вспомогательных проводов. Вибрация контактов возникает, если амплитуда переменного тока в рабочей обмотке реле превышает разность номинального тока контроля и тока возврата реле.

Увеличение тока контроля устранило бы вибрацию контактов, но это привело бы одновременно и к недопустимому увеличению времени возврата реле при обрыве проводов.

Ток срабатывания реле *1ПР2* должен быть равен 2,4 *ма*, что при 900 витках рабочей обмотки реле соответствует 22 *ав* срабатывания реле. Коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,5.

Для обеспечения достаточного быстродействия реле при возврате и отстройки от вибрации контактов реле при максимальном токе короткого замыкания в зоне защиты при одностороннем питании линии, когда переменный ток во вспомогательных проводах также наибольший, номинальный ток контроля принят равным 5,5 *ма*.

Испытания защиты показали, что в наиболее тяжелом режиме реле *1ПР2* начинает вибрировать при снижении тока контроля до 4,4 *ма*. При этом обеспечивается достаточная надежность в нажатии контактов реле, поскольку нормальный ток контроля равен 5,5 *ма* (5,5 : 4,4 = 1,25).

В схеме защиты (см. рис. 1-1) предусмотрены шунтирование замыкающего контакта реле *1ПР2* и подача «плюса» от реле положения выключателя. Это необходимо для предотвращения отказа защиты в случае, если в цикле *АПВ* или при опробовании линии напряжением трансформатор напряжения, питающий устройство контроля, окажется обесточенным. При этом реле *1ПР2* на обоих концах линии разомкнут свои контакты и выведут защиту из действия.

Реле положения выключателя должно подавать «плюс» в схему защиты, когда выключатель отключен. Для этого целесообразно использовать реле контроля цепи включения, которое управляется вспомогательным контактом выключателя и обтекается током, если выключатель отключен; реле обесточено при включенном выключателе. Реле положения выключателя, используемое в данном случае, должно иметь замедление на возврат порядка 0,5—1 *сек*, что необходимо для перекрытия времени включения выключателя и срабатывания защиты.

1-13. УСТРОЙСТВО ПИТАНИЯ ЦЕПЕЙ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Устройство питания цепей контроля и измерения изоляции вспомогательных проводов относительно земли выполнено в виде отдельного аппарата защиты — устройство *У2*. Устройство *У2* уста-

навливается на станции или на подстанции со стороны основного питания защищаемой линии. К устройству подается вторичное напряжение 100 *в* от измерительного трансформатора напряжения, включенного на шины подстанции.

1. **Трансформатор *2ТН*** представляет собой понижающий трехобмоточный промежуточный трансформатор. Одна из вторичных обмоток трансформатора питает цепь контроля исправности вспомогательных проводов, а вторая — цепь измерения изоляции вспомогательных проводов.

Для снижения колебаний тока контроля при изменении первичного напряжения трансформатор *2ТН* выполнен насыщенным с включением в его первичную обмотку конденсатора *2С1* емкостью 1 *мкф*. В связи с этим вторичное напряжение трансформатора имеет достаточно высокую стабилизацию при колебаниях первичного напряжения. При изменении первичного напряжения на ±10% вторичное напряжение изменяется на ±3%, а при изменении первичного напряжения на ±20% вторичное изменяется на +6÷ —9%.

2. **Потенциометр *2R4*** служит для точной установки тока контроля до величины 5,5 *ма* при изменении сопротивления вспомогательных проводов в пределах 0—1 500 *ом*; при этом выпрямленное напряжение изменяется в пределах 7,5—20 *в*.

3. **Выпрямительный мост *2МВ***, выполненный из четырех диодов типа Д7Г, производит двухполупериодное выпрямление переменного тока.

4. **Конденсатор *2С2***. Значительное снижение напряжения при коротком замыкании на защищаемой линии могло бы вызвать снижение тока контроля и размыкание контактов реле *1ПР2*, при этом защита отказала бы в действии. Электролитический конденсатор *2С2* емкостью 400 *мкф*, разряжаясь на цепь, состоящую из рабочих обмоток реле *1ПР2* и вспомогательных проводов, задерживает на 1—3 *сек* размыкание контакта реле *1ПР2*, чем обеспечивает действие защиты на отключение линии.

Колебания времени в пределах 1—3 *сек* обусловлено различным сопротивлением вспомогательных проводов. Большее время соответствует сопротивлению проводов 1 400 *ом*, а меньшее — сопротивлению, равному 0.

5. **Микроамперметр *2Г*** типа М494 с пределом измерения 100 *мка* служит для периодического измерения сопротивления изоляции вспомогательных проводов относительно земли, а также для измерения величины тока контроля. Включение микроамперметра для измерения сопротивления изоляции производится кнопкой *2К1*, расположенной на лицевой стороне устройства *2*. Шунт *2R3* с плавной регулировкой сопротивления предназначен для градуировки прибора. При сопротивлении изоляции вспомогательных проводов, равном нулю (зажимы *4* и *9* устройства *У2* закорочены), стрелка микроамперметра должна отклоняться на всю шкалу 100°.

С помощью кнопки *2К2* микроамперметр включается на измерение тока контроля. Шунт *2R5* позволяет произвести градуировку микроамперметра *2Г* для точного измерения тока контроля. Градуировка осуществляется установкой движка шунта в такое положение, в котором прибор показывает 55 делений при величине тока контроля 5,5 *ма*.

6. **Реле *2ПР1*** представляет собой поляризованное реле типа РП-7, с помощью которого производится автоматический контроль сопротивления изоляции вспомогательных проводов. Ток срабатывания реле составляет 0,8 *ма*. Реле вводится в действие включением накладки *2Н1*. Реле срабатывает и действует на сигнальное реле *7РУ* при снижении сопротивления изоляции ниже 20 000 *ом*.

7. **Электролитический конденсатор *2С3*** емкостью 150 *мкф* служит для сглаживания пульсации выпрямленного напряжения, величина которого составляет 40 *в*.

8. **Дроссель *2Д*** ограничивает напряжение на вспомогательных проводах относительно земли при появлении значительных потенциалов на заземляющем контуре подстанции. Полное сопротивление дросселя — примерно 400 000—500 000 *ом*.

1-14. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА ЗАЩИТЫ

Вспомогательные провода являются одним из элементов защиты, с помощью которого осуществляется электрическая связь двух полукомплектов защиты. Эта связь необходима для сравнения величины и фазы токов по концам защищаемой линии, которые преобразуются фильтрами в соответствующие э. д. с.

Неисправность вспомогательных проводов (обрыв или замыкание между ними) вызывает отказ в действии или загрубление защиты. Для защиты вспомогательных проводов от механических повреждений, а также от влияний линий сильного тока и атмосферных явлений вспомогательные провода выполняются бронированным телефонным кабелем, проложенным в земле.

К вспомогательным проводам защиты предъявляются также требования строгой симметрии каждой жилы относительно свинцовой оболочки. Симметрия проводов обеспечивает равенство э. д. с., наводимых в обоих вспомогательных проводах током короткого замыкания, что обеспечивает правильную работу защиты.

Стоимость кабеля и его прокладки является, как правило, определяющей в общей стоимости защиты. В связи с этим целесообразно применять телефонный кабель, обеспечивающий благодаря своим электрическим характеристикам надежную работу защиты и имеющий сравнительно небольшую стоимость.

Максимальное напряжение переменного тока между вспомогательными проводами, обусловленное э. д. с. фильтров тока защиты, составляет 68 *в* и возникает во время короткого замыкания на защищаемой линии при двустороннем питании линии электропередачи. Максимальный переменный ток в проводах составляет 29 *ма* и имеет место при внешних коротких замыканиях.

Существенное значение для работы защиты имеют сопротивление жил кабеля постоянному току и электрическая емкость между жилами (рабочая емкость). Удельные значения этих величин при длине вспомогательных проводов свыше 14 *км* не должны превышать 100 *ом/км* на петлю и 0,05 *мкф/км*. Перечисленным требованиям в полной мере удовлетворяют телефонные кабели: с кордельно-бумажной изоляцией и звездной скруткой типа ТЗБ, со стирофлексной изоляцией типа ТЗСБ и городской типа ТБ (ГОСТ 1176-50/55). Эти кабели имеют свинцовую оболочку, броню из двух стальных лент и покрытие из пряжи, пропитанной смолой.

Технические данные кабелей типов ТЗБ и ТЗСБ приведены в табл. 1-2 и 1-3.

Изоляция кабелей типов ТЗБ и ТЗСБ выдерживает напряжение в течение 3 *мин* при частоте 50 *гц*, приведенное в табл. 1-2.

Таблица 1-2

Испытательное напряжение для кабелей типов ТЗБ и ТЗСБ, *в*

Место приложения испытательного напряжения	Диаметр жил, *мм*	
	0,7—1	1,2—1,4
Между жилами	700	1 000
Между жилами и оболочкой . .	1 000	1 800

Сопротивление одной жилы и электрическая рабочая емкость кабеля, измеренная переменным током для кабелей типов ТЗБ и ТЗСБ, приведены в табл. 1-3.

Таблица 1-3

Сопротивление одной жилы и электрическая рабочая емкость кабелей типов ТЗБ и ТЗСБ

Диаметр жилы, *мм*	Сопротивление одной жилы, *ом/км*	Рабочая емкость пары жил, *мкф/км*	
		для неэкранированных цепей	для экранированных цепей
0,7	47	0,035	0,036
0,8	36,1	0,035	0,036
0,9	28,5	0,035	0,036
1,0	23,5	0,035	0,036

Кабель типа ТБ имеет следующие технические данные:

1) Изоляция кабеля выдерживает в течение 2 *мин* напряжение 500 *в*, 50 *гц* между жилами, а также между жилами и свинцовой оболочкой.

2) Сопротивление изоляции каждой жилы по отношению ко всем остальным, соединенным со свинцовой оболочкой, на 1 *км* при $t=20°$ С составляет не менее 2 000 *Мом*.

3) Кабель изготовляется с числом пар 5, 10, 20 и т. д. до 600 с диаметром жил 0,5; 0,6 и 0,7 *мм*.

4) Сопротивление одной жилы и электрическая емкость на 1 *км* у кабелей до 500 пар соответствуют данным табл. 1-4.

Для продольной дифференциальной защиты в качестве вспомогательных проводов в первую очередь может быть рекомендовано применение телефонного кабеля типов ТЗБ и ТЗСБ. Кабели этих типов несколько дороже кабеля типа ТБ, но превосходят его по своим электрическим характеристикам. Диаметр жил кабеля по условиям механической прочности должен быть не меньше 0,7 *мм*.

Применение кабеля типа СРГ с резиновой изоляцией в качестве линии вспомогательных проводов, как правило, нецелесообразно.

Для продольной дифференциальной защиты в качестве вспомогательных проводов в первую очередь может быть рекомендовано применение телефонного кабеля типов ТЗБ и ТЗСБ. Кабели этих типов несколько дороже кабеля типа ТБ, но они превосходят его по своим электрическим характеристикам. Диаметр жил кабеля по условиям механической прочности должен быть не меньше 0,7 *мм*.

Таблица 14

Сопротивление одной жилы и электрическая емкость кабелей типа *ТБ*

Диаметр жилы, *мм*	Сопротивление одной жилы, *ом/км*	Рабочая емкость пары жил, *мкф/км*		Емкость одной жилы, *мкф/км*	
		средняя	максимальная	средняя	максимальная
0,5	95	0,05	0,055	0,083	0,091
0,6	65,8	0,041	0,045	0,068	0,075
0,7	48	0,042	0,046	0,070	0,077

Применение контрольно-сигнального кабеля типа СРГН с резиновой изоляцией в качестве линии вспомогательных проводов, как правило, нецелесообразно. Кабель этого типа не имеет деления на отдельные пары, жилы которых скручены, в связи с чем жилы кабеля расположены несимметрично относительно свинцовой оболочки. Продольные э. д. с. пары жил такого кабеля, обусловленные электромагнитным влиянием линий электропередачи при коротких замыканиях, могут значительно отличаться по величине, что может вызвать ложное действие защиты при внешних коротких замыканиях. Стоимость кабеля типа СРГН значительно выше телефонного кабеля.

1-15. ПОВЕДЕНИЕ ЗАЩИТЫ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ И ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ В СИСТЕМЕ

1. Нормальный режим или внешнее короткое замыкание

Если трансформаторы тока не вносят погрешности по току и углу, то в нормальном режиме работы линии электропередачи или при внешнем коротком замыкании вторичные токи по концам защищаемой линии, а следовательно, и э. д. с. фильтров тока равны между собой и сдвинуты по фазе на 180°. В этих условиях э. д. с. обоих фильтров складываются арифметически и обусловливают протекание относительно большого тока по вторичным цепям фильтров, токовым (тормозным) обмоткам дифференциальных реле и вспомогательным проводам. Если вспомогательные провода симметричны, то в середине их напряжение между проводами будет равно нулю. Поэтому токи и напряжения в схеме защиты не изменятся, если предположить, что провода в середине линии закорочены. Это упрощает определение напряжений и токов в элементах защиты. Входное сопротивление вспомогательных проводов в рассматриваемом режиме практически равно половине сопротивления постоянному току этих проводов, так как это сопротивление значительно меньше их емкостного сопротивления. Так, например, при длине вспомогательных проводов, равной 10 *км*, удельном сопротивлении кабеля 100 *ом/км* (диаметр жилы кабеля 0,7 *мм*) и рабочей емкости кабеля 0,05 *мкф/км* входное сопротивление составляет $z_{1вх}=500$ *ом*. Реле *1ПР1* защиты по обоим концам линии при этом работать не будет, так как $z_{ср} \geqslant 2\,500$ *ом*.

Сопротивление холостого хода фильтра $Z_{х.ф}$, приведенное ко вторичной обмотке изолирующего трансформатора *ЗТИ*, будет равно: $z^1_{х.ф} = z_{х.ф} n^2_{1ТП1} n^2_{ЗТИ} = 2{,}1 \cdot 25^2 \cdot 3^2 \approx 11\,000$ *ом*. Приведенное сопротивление цепи тока реле *1ПР1*:

$$R'_т = R_т n^2_{ЗТИ} = 100 \cdot 3^2 = 900 \text{ ом}.$$

Из сравнения суммы этих сопротивлений с последовательно включенным входным сопротивлением $z_{1вх}$ видно, что последнее в 25 раз меньше сопротивления всей цепи. В связи с этим напряжение на рабочей обмотке реле *1ПР1* будет мало, так как приблизительно 95% всей э. д. с. фильтра падает на сопротивление самого фильтра. При использовании вспомогательных проводов с недопустимо большим сопротивлением входное сопротивление $z_{1вх}$ возрастает, что может вызвать срабатывание реле *1ПР1* при внешних коротких замыканиях.

Продольная дифференциальная защита применяется на коротких линиях электропередачи, поэтому при внешнем коротком замыкании токи, протекающие по концам защищаемой линии, практически равны между собой как по величине, так и по фазе. Вторичные же токи трансформаторов тока, питающих защиту, могут отличаться по величине и фазе из-за погрешности трансформаторов тока. В связи с этим э. д. с. фильтров двух полукомплектов защиты будут не равны, а фазовый сдвиг между ними будет отличен от 180°. Известно, что при выборе трансформаторов тока по нагрузке считается допустимой погрешность по току до 10%; при этом погрешность токов по углу не превышает 7°.

Погрешность трансформаторов тока вызывает повышение входного сопротивления вспомогательных проводов, а следовательно, и снижение запаса селективности защиты. Для проверки селективности защиты при внешних коротких замыканиях в условиях, когда вторичные токи отличаются по величине и фазе, снимаются так называемые тормозные характеристики защиты. Тормозные характеристики ДЗЛ-1, приведенные на рис. 1-17—1-20, сняты при имитации однофазного короткого замыкания *В0* при параметрах вспомогательных проводов: $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$ и $R_{пр} = 1\,400$ *ом*, $C_{пр} = 1$ *мкф* и уставках фильтра: $h^*_{(1)} = h^*_{(2)} = 1$, $k = -6$ и $h_{(1)} = h_{(2)} = 2$, $k = -10$.

На указанных рисунках по вертикальной оси отложены токи $I_{(1)}$ [полукомплекта защиты (1)], а по горизонтальной оси — токи $I_{(2)}$ [полукомплекта (2)].

Верхние графики характеристик показывают зависимость $I_{(1)\,ср} = f(I_{(2)})$ и нижние — зависимость $I_{(2)\,ср} = f(I_{(1)})$ при фазовом сдвиге токов $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$, равном 155 и 205°.

Тормозные характеристики защиты[1] позволяют определить максимальную разницу вторичных токов по концам защищаемой линии, при которой срабатывают полукомплекты защиты *1* и *2*. Принято считать, что продольная дифференциальная защита селек-

---

* *Здесь и далее индексами* (1) *и* (2) *обозначаются величины, относящиеся к первому и второму полукомплектам защиты.*

[1] Метод снятия тормозных характеристик защиты изложен в разделе 2-33.

тивна, если при фазовом сдвиге между токами $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$, равном 155 или 205° (180 $\pm$ 25°), она срабатывает при $I_{(1)\,ср} \geqslant 1{,}2I_{(2)}$ или $I_{(2)\,ср} \geqslant 1{,}2I_{(1)}$, т. е. ветви характеристик не пересекаются с прямыми $I_{(1)} = 1{,}2I_{(2)}$ и $I_{(2)} = 1{,}2I_{(1)}$.

Из рис. 1-17—1-20 видно, что ДЗЛ-1 может сработать при внешнем коротком замыкании, если вторичные токи по концам защищаемой линии отличаются не менее чем в 1,5 раза. Это показывает на достаточный запас селективности защиты. В точке перегиба характеристик, где их ветви изменяют наклон, происходит зажигание стабилизаторов напряжения, после чего селективность защиты резко возрастает.

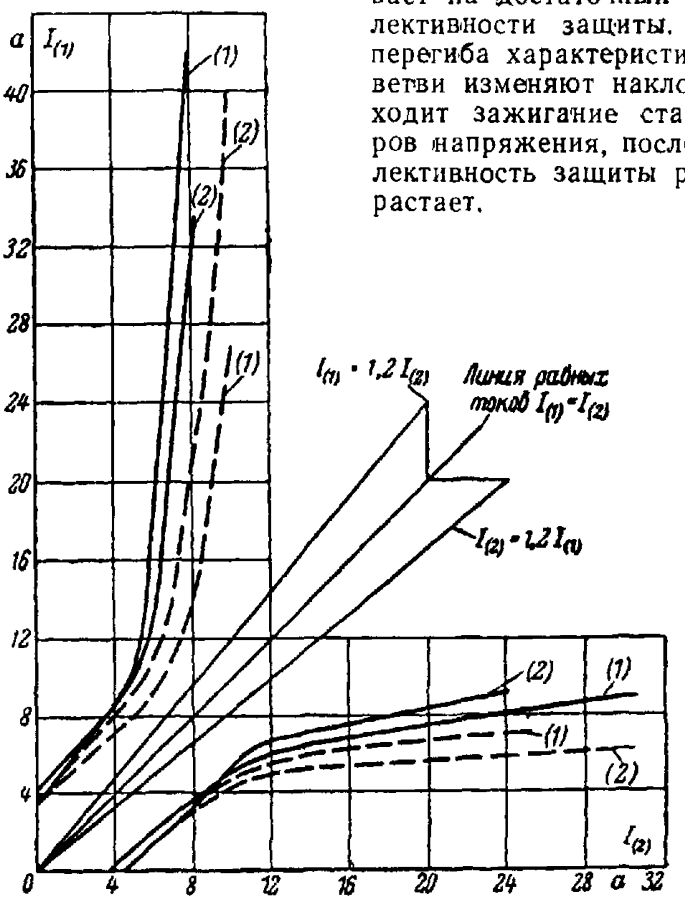


Рис. 1-17. Тормозные характеристики защиты; короткое замыкание) *ВО*; $h = 1$, $k = -6$; $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$. ——— $\varphi = 155°$; — — — $\varphi = 205°$;

$\varphi = \widehat{I_{(1)}, I_{(2)}}$.

$I_{(1)}$ — ток со стороны полукомплекта *1*; $I_{(2)}$ — ток со стороны полукомплекта *2*.

2. Повреждение на защищаемой линии

При двустороннем питании места повреждения в защищаемой зоне и равных токах короткого замыкания по концам линии вторичные токи, а следовательно, и э. д. с. фильтров равны по величине и совпадают по фазе. При этом напряжения на концах вспомога-

тельных проводов равны и направлены встречно. Ток во вспомогательных проводах определяется в этом режиме только емкостной проводимостью.

В середине линии вспомогательных проводов этот ток будет равен нулю и, если предположить, что линия здесь разрезана, то величина токов и напряжений в элементах защиты не изменится. Входное сопротивление вспомогательных проводов будет при этом практически определяться половиной их емкости.

Например, при длине вспомогательных проводов, равной 10 *км*, удельном сопротивлении кабеля

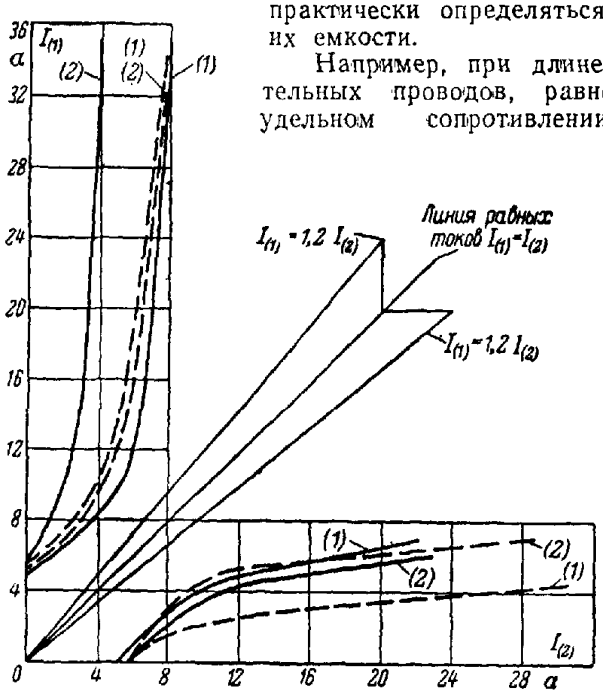


Рис. 1-18. Тормозные характеристики защиты; короткое замыкание *ВО*; $h=1$; $k=-6$; $R_{пр}=1\,400$ *ом*; $C_{пр}=1{,}05$ *мкф*; ——— $\varphi=155°$; — — — $\varphi=205°$;

$$\varphi=\widehat{I_{(1)}, I_{(2)}}.$$

$I_{(1)}$ — ток со стороны полукомплекта *1*; $I_{(2)}$ — ток со стороны полукомплекта *2*.

100 *ом/км* и емкости 0,05 *мкф/км* входное сопротивление $z_{вх2}$ составит 13 000 *ом*, что значительно больше сопротивления срабатывания реле *1ПР1*. При этом указанные реле срабатывают на обоих концах линии и действуют на выходные реле *1РП*.

В рассматриваемом режиме сопротивление холостого хода фильтра, приведенное ко вторичной обмотке изолирующего трансформатора, окажется включенным последовательно с большим входным сопротивлением вспомогательных проводов. При этом ток во вторичных цепях фильтра, в обмотке тока реле *1ПР1* и вспомогательных проводах значительно снижается сравнительно с режимом внешнего короткого замыкания, а напряжение на входе линии возрастает. При токе короткого замыкания, превышающем в 2,5 ра-

за ток срабатывания защиты, начинается тлеющий разряд газонаполненных стабилизаторов, что обеспечивает стабилизацию тока и напряжения на вспомогательных проводах.

При повреждении в зоне в режиме одностороннего питания э. д. с. фильтра тока защиты одного конца линии равна нулю. Входное сопротивление вспомогательных проводов $z_{вх3}$ на питающем конце линии определяется при этом параметрами вспомогательных проводов и сопротивлениями элементов второго полукомплекта защиты, приведенными ко вторичной обмотке трансформатора *ЗТИ*: $z_{вх3}$ при этом значительно больше сопротивления срабатывания реле *1ПР1*.

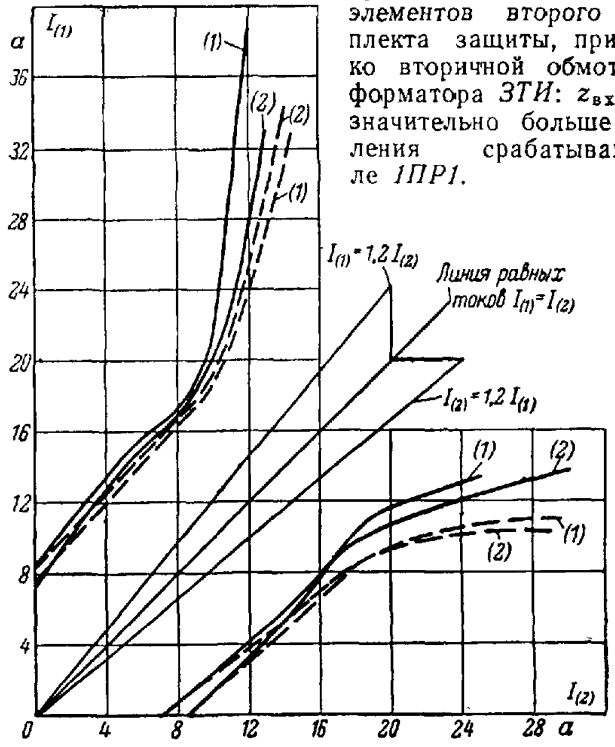


Рис. 1-19. Тормозные характеристики защиты; короткое замыкание *ВО*; $h=2$; $k=-10$; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$. ——— $\varphi=155°$; — — — $\varphi=205°$;

$\varphi=\overset{\frown}{I_{(1)},\ I_{(2)}}$.

$I_{(1)}$ — ток со стороны полукомплекта (1);

$I_{(2)}$ — ток со стороны полукомплекта (2).

На приемном конце линии реле *1ПР1* получает мощность от защиты противоположного конца линии по вспомогательным проводам. Работа реле сопротивления определяется при этом в основном сопротивлением холостого хода фильтра, приведенным ко вторичной обмотке промежуточного трансформатора *1ТП*.

При этом реле *1ПР1* на обоих концах защищаемой линии срабатывают, и защита через выходные реле действует на отключение выключателей.

Следует отметить, что для одной и той же линии $z_{вх3}$ всегда меньше, чем $z_{вх2}$, и поэтому при повреждениях в зоне с двусторонним питанием защита работает быстрее, чем в режиме одностороннего питания.

Ток срабатывания защиты при коротких замыканиях в зоне определяется характеристиками рис. 1-21 — 1-25. На этих характеристиках приведена зависимость тока срабатывания защиты от сопротивления и емкости вспомогательных проводов, вида повреждения, уставок фильтра k.

Из рис. 1-23 и 1-24 видно, что при передаче по линии нагрузки ток срабатывания защиты увеличивается. При однофазных по-

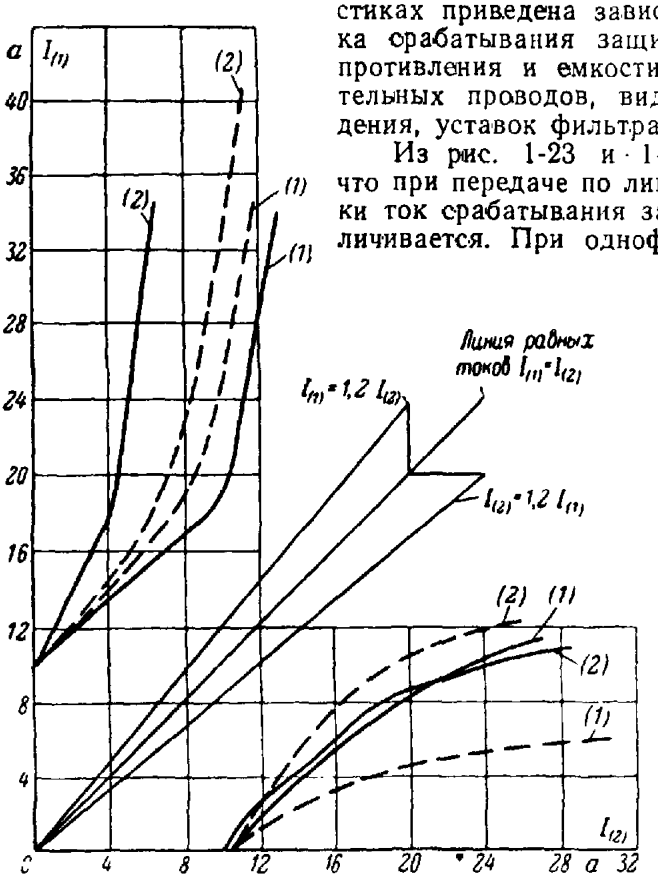


Рис. 1-20. Тормозные характеристики защиты; короткое замыкание BO; $h=2$, $k=-10$; $R_{пр}=1\,400$ *ом*; $C_{пр}=1{,}05$ *мкф*. ——— $\varphi=135°$; — — — $\varphi=205°$; $\varphi=\widehat{I_{(1)},\ I_{(2)}}$; $I_{(1)}$ — ток со стороны полукомплекта *1*; $I_{(2)}$ — ток со стороны полукомплекта *2*.

вреждениях в зоне в режиме одностороннего питания при неблагоприятных фазовых сдвигах между током короткого замыкания и током нагрузки ток срабатывания защиты на питающем конце линии может возрасти в 1,5 раза.

На рис. 1-11 — 1-13 дана зависимость напряжений на первичной и вторичной обмотках трансформатора *ЗТИ* и тока в проводах от величины тока короткого замыкания при повреждениях внешних и в зоне защиты.

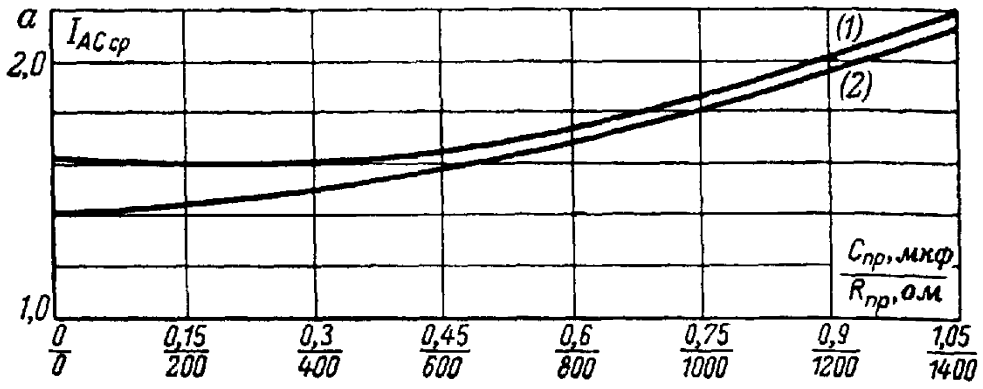


Рис. 1-21. Зависимость тока срабатывания защиты от длины (сопротивления и емкости) вспомогательных проводов в режиме одностороннего питания со стороны комплекта *1*; $h = 1$, $k = -6$, короткое замыкание *АС*.

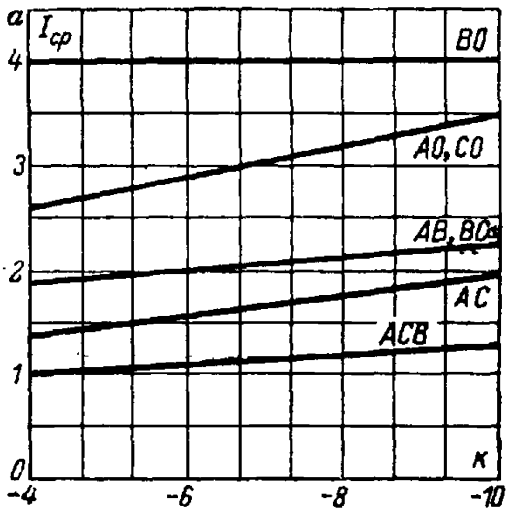


Рис. 1-22. Зависимость тока срабатывания защиты от вида короткого замыкания и величины k в режиме одностороннего питания; $h = 1$, $R_{пр} = 600$ *ом*, $C_{пр} = 0{,}45$ *мкф*.

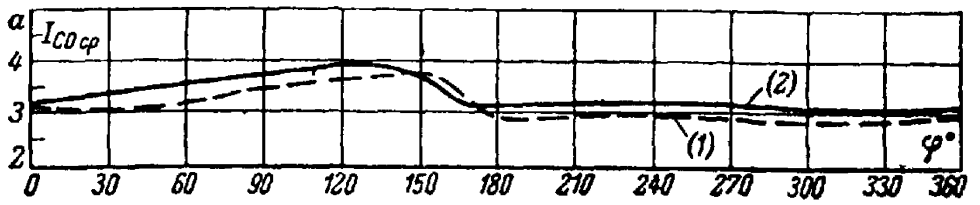


Рис. 1-23. Зависимость тока срабатывания защиты при наличии нагрузки в режиме одностороннего питания от фазного сдвига φ между током нагрузки $I_н$ и током однофазного короткого замыкания I_{C0}; $I_{C0\,ср} = f(\varphi)$; $h = 1$; $k = -6$; $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$; $I_н = 5$ *а*. При $I_н = 0$ $I_{C0\,ср} = 2{,}9$ *а*; (питание со стороны полукомплекта *1*).

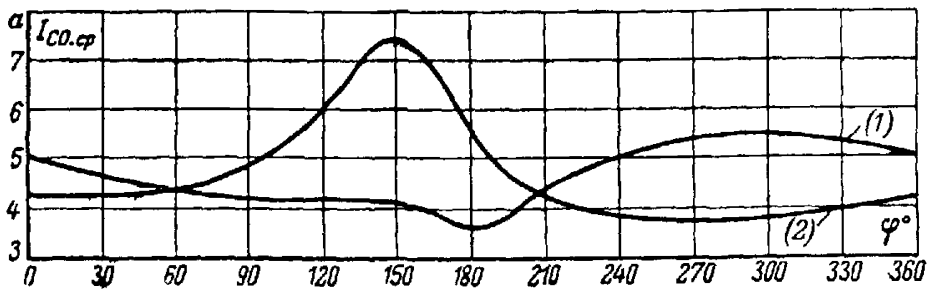


Рис. 1-24. Зависимость тока срабатывания защиты при наличии нагрузки в режиме одностороннего питания от фазового сдвига φ между током нагрузки $I_н$ и током однофазного короткого замыкания $I_{со}$; $I_{С0\ ср} = f(\varphi)$; $h = 1$; $k = -6$; $R_{пр} = 1\ 400$ *ом*; $C_{пр} = 1{,}05$ *мкф*; $I_н = 5$ *а*. При $I_н = 0$ $I_{С0\ ср} = 3{,}8$ *а*; (питание со стороны полукомплекта *I*).

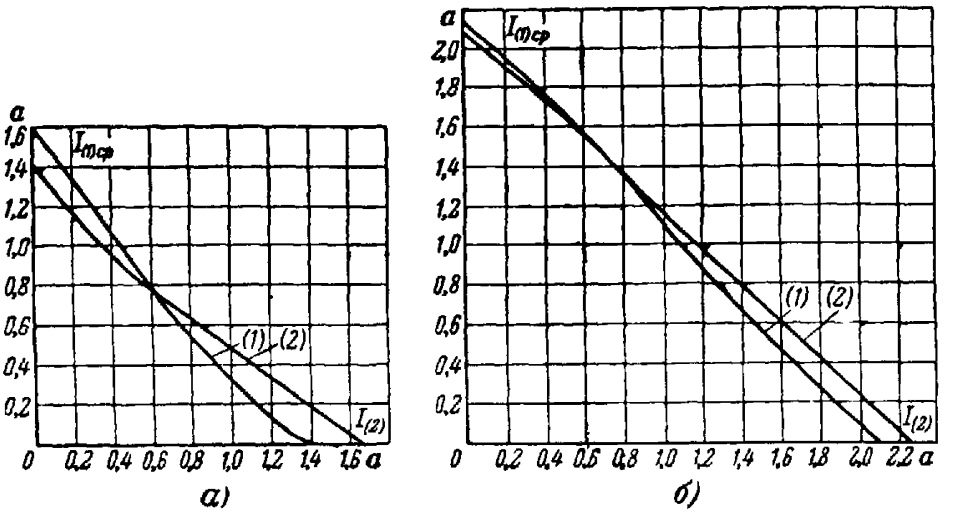


Рис. 1-25. Зависимость тока срабатывания одного полукомплекта защиты от тока короткого замыкания на втором конце линии (режим двустороннего питания, короткое замыкание *АС*); $h=1$; $k=-6$, фазовый сдвиг между токами $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$ равен нулю.

а — $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$; *б* — $R_{пр} = 1\ 400$ *ом*; $Cпр = 1{,}05$ *мкф*.

1-16. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЗАЩИТЫ

1. Защита выполнена по принципиальной схеме рис. 1-1. Номинальный вторичный ток защиты равен 5 *а* и номинальное напряжение 100 *в* (50 *гц*). Защита выполняется на постоянном оперативном токе на номинальное напряжение 110 или 220 *в*.

2. Защита может быть применена при равных коэффициентах трансформации трансформаторов тока по концам защищаемой линии или коэффициентах, находящихся в отношении 1,5 : 2. По условиям линейности э. д. с. фильтров максимально допустимый вторичный ток защиты равен 100, 150 или 200 *а* в зависимости от уставок фильтра.

3. Минимальный суммарный ток[1] срабатывания защиты имеет место при уставках $h=1$, $k=-4$ и составляет:

а) для тока обратной последовательности

$$I_{2ср.мин} = 1\ a,$$

б) для тока прямой последовательности

$$I_{1ср.мин} = 4\ a.$$

При изменении уставок защиты h и k изменяется и ток срабатывания защиты. При трехфазном коротком замыкании защита срабатывает при токе в месте повреждения

$$I_{1ср} \approx kh\ [a].$$

В защите предусмотрено изменение уставки k от —4 до —10 и ступенчатое изменение уставки h: 1; 1,5; 2.*

При необходимости более точного определения тока срабатывания защиты следует учесть зависимость его величины от вида короткого замыкания, сопротивления и емкости вспомогательных проводов (см. рис. 1-21 — 1-25).

В табл. 1-5 даны значения суммарных токов в месте повреждения, при которых защита срабатывает, в зависимости от вида короткого замыкания и уставки k при $h=1$, сопротивлении вспомогательных проводов $R_{пр}$ в пределах 0—800 *ом* и рабочей емкости $C_{пр}$ в пределах 0—0,5 *мкф*.

Таблица 1-5

Суммарные токи срабатывания защиты, *a*

k	$I^{(1)}_{ср}$	$I^{(2)}_{ср}$	$I^{(3)}_{ср}$	$I_{2\ ср}$
—4	4	1,9	4	1
—6	4	2,0	6,6	1,1
—8	4	2,15	9,2	1,15
—10	4	2,25	12,5	1,25

4. Защита селективна при внешних повреждениях при сопротивлении вспомогательных проводов до 1 400 *ом* и рабочей емкости между вспомогательными проводами до 1 *мкф*, если вторичные токи трансформаторов тока на обоих концах защищаемой линии не отличаются по величине больше, чем на 20%, и по фазе больше, чем на 25° (см. рис. 1-17 — 1-20).

5. Зависимость времени действия защиты от кратности тока короткого замыкания относительно тока срабатывания защиты без

[1] Суммарным называется ток, который притекает к месту повреждения с обеих сторон линии.

* Завод поставляет защиту с уставками $h=1$ и $k=-6$.

учета времени выходного реле приведена на рис. 1-26; время действия защиты не превосходит величин, указанных в табл. 1-6.

Таблица 1-6

$k = \frac{I_{к.з}}{I_{ср}}$	$t_{ср}$, *мсек*	
	одностороннее питание	двустороннее питание
3	28	27
5	25	22
10	23	19
20	22	18

В защите применено выходное реле, время действия которого регулируется ступенями и составляет 20 и 50 *мсек*.

6. Максимальное потребление мощности в токовых цепях защиты при симметричном трехфазном токе 5 *а* и питании защиты от трех трансформаторов тока не превышают 10 *ва* на фазу, а при питании от двух трансформаторов тока 11 *ва* (фаза *С*). Потребление мощности в цепях напряжения защиты (устройство питания цепи контроля вспомогательных проводов) при напряжении 100 *в* составляет 5,0 *ва*. Максимально допустимое напряжение 110 *в*.

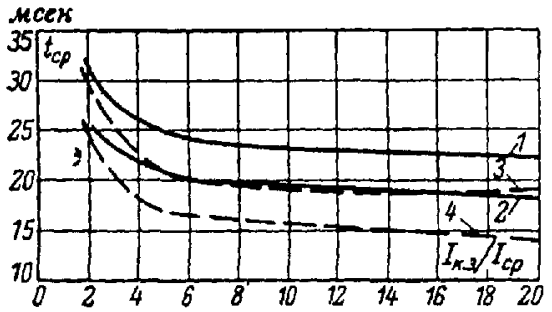


Рис. 1-26. Зависимость времени действия защиты (без выходного реле) от кратности тока короткого замыкания в отношении тока срабатывания защиты, ——— в режиме одностороннего питания; — — — в режиме двустороннего питания. *1* — $R_{пр} = 1\,400$ *ом*, $C_{пр} = 1{,}05$ *мкф*; *2* — $R_{пр} = 0$, $C_{пр} = 0$; *3* — $R_{пр} = 1\,400$ *ом*, $C_{пр} = 1{,}05$ *мкф*; *4* — $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$.

7. Максимальное напряжение между вспомогательными проводами составляет 68 *в действ* при максимальном токе трехфазного короткого замыкания в зоне и двустороннем питании защищаемой линии (см. рис. 1-12). Максимальный переменный ток во вспомогательных проводах составляет 29 *ма действ* при внешних коротких замыканиях (см. рис. 1-13).

8. В качестве вспомогательных проводов защиты наиболее целесообразно применять кордельный телефонный кабель типов ТЗБ и ТЗСБ с звездной скруткой или городской телефонный кабель типа ТБ с парной скруткой диаметром жил 0,7—0,8 *мм*.

9. Защита может быть использована, как правило, только с применением автоматического быстродействующего контроля, блокирующего защиту при обрыве вспомогательных проводов [1].

Номинальный ток контроля вспомогательных проводов составляет 5,5 *ма*. Колебание напряжения на первичной обмотке трансформатора устройства питания цепи контроля на ±10% номинальной величины 100 *в* вызывает изменение тока контроля не больше чем на ±3% номинальной величины, а при изменении напряжения на ±20% — не больше чем на +6% ÷ —9%.

Глава вторая

ТИПОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТЫ

2-1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРОГРАММА ТИПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Типовые испытания защиты проводятся на заводе-изготовителе при выпуске новой серии защиты или при модернизации ее отдельных элементов, а также в энергосистемах. Целью типовых испытаний является проверка электрических характеристик отдельных элементов и всей защиты в целом. Испытания проводятся не менее чем на двух-трех экземплярах защиты, что позволяет получить представление о степени их однородности.

Типовые испытания защиты в энергосистемах служат для определения ее параметров, глубокого изучения защиты и методов ее наладки. На основе этих испытаний составляются инструкции по наладке и эксплуатации защиты и производится обучение персонала местных служб защиты.

В объем типовых испытаний защиты входят испытания отдельных ее элементов и защиты в целом.

В программу проверки отдельных элементов защиты входит:

1. Проверка комбинированного фильтра токов.
2. Проверка промежуточного трансформатора тока *1ТП* и газонаполненных стабилизаторов напряжения *1СТ1* и *1СТ2*.
3. Проверка поляризованных реле *1ПР1*, *1ПР2*, *2ПР1* и выходного реле *1РП*.
4. Измерение прямого и обратного сопротивлений диодов выпрямительных мостов *1МВ1*, *1МВ2*, *2МВ1* и одиночных диодов *2ДГ1* и *2ДГ2*.
5. Испытание изолирующего трансформатора *3ТИ* и насыщающегося трансформатора *2ТН*.
6. Измерение емкости конденсаторов *1С1* — *1С5*, *2С1* — *2С3* и *3С1*.
7. Измерение сопротивлений *1R5* — *1R8*; *2R1* — *2R5* и дросселя *2Д*.

В программу типовых испытаний защиты входит:

---

[1] В отдельных случаях при больших значениях тока короткого замыкания защита может быть использована с медлению действующим контролем (аналогично защитам РДЛ и НСВ). При этом ток срабатывания защиты должен быть увеличен применением больших уставок h и k так, чтобы защита не работала от токов максимальной длительно допустимой нагрузки при обрывах вспомогательных проводов.

1. Проверка соответствия монтажа устройств *У1*, *У2* и *У3* монтажным и принципиальной схемам.

2. Сборка схемы испытания защиты.

3. Проверка идентичности полукомплектов защиты.

4. Определение токов срабатывания, времени действия и селективности защиты.

5. Испытание устройства питания цепей контроля.

Типовые испытания защиты проводятся в лабораторных условиях на релейном стенде. Для сравнения параметров элементов защиты и экономии времени при сборке схем и подборе измерительных приборов испытания одноименных элементов двух полукомплектов защиты следует вести параллельно.

2-2. ПРОВЕРКА И ИСПЫТАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ФИЛЬТРА

В программу проверки и испытаний комбинированного фильтра входит ряд последовательных операций:

1. Измерение сопротивления взаимной индукции между обмотками w_1 и w_2, w_0 и w_2 трансреактора *1ТФ* для всех значений отпаек обмоток w_1 и w_0, включаемых переключателем *1Н4*.

2. Измерение сопротивлений *1R1*, *1R2* и максимальной величины сопротивлений *1R3* и *1R4*.

3. Регулировка фильтра по заданной величине коэффициента k.

4. Измерение полного сопротивления холостого хода фильтра $z_{х.ф}$.

5. Проверка правильности соединения фильтра измерением э. д. с. на его выходе.

6. Проверка линейности фильтра.

а) Сопротивление взаимной индукции $X_м$ обмоток трансреактора фильтра является одной из величин, определяющей чувствительность защиты, а одинаковое значение $X_м$ двух полукомплектов защиты определяет их идентичность. В связи с этим измерение сопротивления взаимной индукции и в случае необходимости регулировка его являются обязательными при проведении типовых испытаний защиты.

Измерение $X_м$ производится по схеме рис. 2-1 для трех уставок h.

При подаче тока на зажимы *3—5* измеряется сопротивление взаимной индукции $X_{м1-2}$ между обмотками w_1 и w_2, а при подаче на зажимы *1—3* измеряется $X_{м0-2}$ между обмотками w_0 и w_2.

Для измерения э. д. с., индуктированной во вторичной обмотке w_2 трансреактора, вторичная цепь фильтра, состоящая из обмотки w_2 и сопротивлений фильтра *1R1*, *1R2*, *1R3* и *1R4*, размыкается с помощью накладки *1Н3*.

С помощью автотрансформатора T (или потенциометра) и реостата R_1 в схеме устанавливается ток 5 *а*, и вольтметром с высоким сопротивлением (не меньше 1 000 *ом/в*), например ламповым вольтметром, измеряется э. д. с., индуктированная в обмотке w_2 (порядка 2 *в*). Величина $X_м$ определяется из выражения

$$X_м = \frac{U}{I}.$$

Результаты измерений записывают в табл. 2-1.

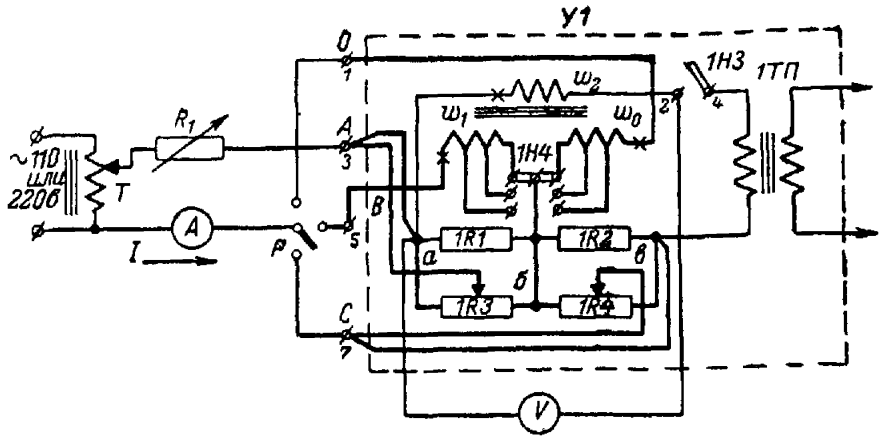


Рис. 2-1. Схема измерения сопротивлений взаимной индукции $X_{м1-2}$ и $X_{м1-0}$ трансреактора фильтра.

Т — автотрансформатор *ЛАТР*-1; R_1 — реостат 10—15 *ом*; *А* — амперметр; *V* — вольтметр ламповый; *Р* — трехполюсный переключатель.

Таблица 2-1

Результаты измерения и вычисления сопротивлений взаимной индукции по схеме рис. 2-1

Измеряемая величина	Положение 1Н4	*I*, *а*	*U*, *в*	$X_м = \frac{U}{I}$	$X_{м\ ном}$, *ом*	$\frac{X_м}{X_{м\ ном}}$	$\frac{X_{м(1)}}{X_{м(2)}}$	Обозначения полукомплектов
$X_{м\ 1-2}$	*h*=1				0,375			(1) (2)
	h=1,5				0,250			(1) (2)
	h=2				0,187			(1) (2)
$X_{м\ 0-2}$	*h*=1				0,125			(1) (2)
	h=1,5				0,083			(1) (2)
	h=2				0,062			(1) (2)

По результатам измерений определяются отношение измеренной величины $X_м$ к номинальной $X_{м.ном}$, а также отношение соответствующих измеренных величин $X_м$ двух полукомплектов защиты.

Первое отношение должно находиться в пределах 0,95—1,05, что обеспечивает отклонение чувствительности защиты не более чем на ±5% номинальной. Сопротивления $X_м$ обоих полукомплектов не должны отличаться более чем на 5%.

Если отношения $\frac{X_м}{X_{м.ном}}$ и $\frac{X_{м(1)}}{X_{м(2)}}$ выходят за пределы указанных величин и по величине одинаковы для всех значений h, то необходимо произвести регулировку сопротивлений взаимной индукции. Последнее осуществляется изменением величины воздушного зазора в среднем стержне магнитопровода трансреактора с последующим повторным измерением $X_м$.

Для регулировки $X_м$ ослабляют четыре шпильки, стягивающие магнитопровод трансреактора. Для увеличения $X_м$ необходимо уменьшить указанный воздушный зазор. Последнее достигается легкими ударами молотка по верхней плоскости магнитопровода. Для уменьшения $X_м$ необходимо увеличить воздушный зазор путем небольшого выдвижения вверх верхней части магнитопровода. В этом случае стягивающие шпильки должны быть освобождены. По окончании регулировки воздушного зазора магнитопровод необходимо хорошо стянуть с помощью всех четырех шпилек.

Если отношение $\frac{X_м}{X_{м.ном}}$ для различных уставок h различно, то это указывает на неточность в намотке числа витков в отпайках. Обмотку такого трансреактора необходимо заменить, а типовые испытания провести на другом комплекте защиты.

б) Сопротивления *1R1, 1R3* и *1R2, 1R4* в схеме фильтра включены попарно, параллельно. Максимальная величина этих сопротивлений $R_м$ определяется минимальным коэффициентом k фильтра, равным —4, и находится из выражения:

$$R_м = \frac{k-1}{k+1}\frac{X_{м1-2}}{\sqrt{3}} = \frac{-4-1}{-4+1}\frac{X_{м1-2}}{\sqrt{3}} = 0{,}965X_{м1-2}.$$

Здесь $X_{м1-2}$ — сопротивление по данным табл. 2-1.

Измерение $R_м$ производится методом вольтметра — амперметра по схеме рис. 2-1. Питание от автотрансформатора *T* подается на зажимы *3* и *7* устройства *У1*, при этом движки регулируемых сопротивлений устанавливаются в крайнее положение. В схеме измерения устанавливается ток, равный 5 *а*. Результаты измерений записывают в табл. 2-2.

в) Проверка коэффициента k фильтра сводится к определению сопротивления R фильтра по известным значениям k и $X_м$ и регулировке сопротивлений фильтра до заданной величины R с максимально возможной точностью.

Сопротивление R определяется из выражения:

$$R = R_{1-3} = R_{2-4} = \frac{X_{м1-2}}{\sqrt{3}}\frac{k-1}{k+1},$$

Таблица 2-2

Результаты измерений регулируемых сопротивлений фильтра

y_1	I, a	U_{R1}, $в$	U_{R2}, $в$	R_{1-3}, $ом$	R_{2-4}, $ом$
(1)					
(2)					

где R_{1-3} и R_{2-4} — сопротивления, эквивалентные параллельно соединенным сопротивлениям R_1, R_3 и R_2, R_4 фильтра, обтекаемые токами фаз A и C;

$X_{м1-2}$ — сопротивление взаимной индукции обмоток w_1 и w_2 трансреактора фильтра, по данным измерений.

Результаты подсчета R даны в табл. 2-3.

Таблица 2-3

Результаты подсчета R

k	R, $ом$
—4	0,965 $X_{м\,1-2}$
—6	0,808 $X_{м\,1-2}$
—8	0,743 $X_{м\,1-2}$
—10	0,706 $X_{м\,1-2}$

Защита выпускается заводом с настройкой фильтра по k=—6, поэтому целесообразно проведение типовых испытаний с этой настройкой.

Величины сопротивлений проверяются в схеме рис. 2-1 при подведении тока I=5 $а$ к зажимам *3* и *7* устройства *У1*.

При необходимости регулировка осуществляется движками сопротивлений R_3 и R_4, при этом измеряются напряжения U_{1-3} и U_{2-4} между точками *а—б* и *а—в* схемы рис. 2-1.

Результаты регулировки по данным измерений записываются в табл. 2-4.

г) Полное сопротивление холостого хода фильтра $z_{х.ф}$ является одной из основных величин, характеризующих конструкцию фильтра. Для принятой схемы фильтра $z_{х.ф}$ не зависит от уставок фильтра k и h и представляет собой полное сопро-

Таблица 2-4

Результаты регулировки сопротивлений фильтра; $k = - \cdots$

$У_1$	$X_{м\ 1-2}$, ом	R, ом	I, а	U_{1-3}, в	U_{2-4}, в
(1)					
(2)					

тивление вторичной цепи фильтра, измеренное со стороны выхода фильтра при разомкнутых входных зажимах *1*, *3*, *5* и *7* (рис. 2-2):

$$z_{х.ф} = \sqrt{(2R_м + r_2)^2 + X_2^2},$$

где $R_м$ — максимальное эквивалентное сопротивление параллельно соединенных сопротивлений R_1 и R_3 или R_2 и R_4;

r_2 и X_2 — активное и индуктивное сопротивления вторичной обмотки w_2 трансреактора фильтра.

Измерение $z_{х.ф}$ производится по схеме рис. 2-2 при разомкнутой накладке *1Н3*. Результаты измерений записываются в табл. 2-5.

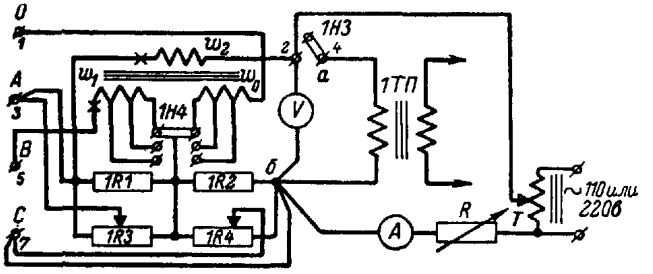


Рис. 2-2. Схема измерения сопротивления холостого хода фильтра ($z_{х.ф}$).

Т — автотрансформатор; *R* — реостат; *А* — амперметр; *V* — вольтметр ламповый.

При исправном состоянии фильтра сопротивление $z_{х.ф}$ при токе 5 *а* должно составлять около 2,1 *ом*.

5. Комбинированный фильтр обеспечивает правильную работу защиты при соответствующем соединении его элементов (см. рис. 1-1). Проверка правильности соединений фильтра производится по схеме рис. 2-3 измерением э. д. с. на его выходе при подведении к фильтру симметричного трехфазного тока 5 *а*. Измерения проводятся для прямого и обратного чередования фаз тока на входных зажимах фильтра.

Результаты измерения записываются в табл. 2-6. Перед измерением э. д. с. с помощью фазоуказателя определяется чередование фаз тока источника питания.

Таблица 2-5

Результаты измерений $z_{х.ф}$

У1	I, $а$	1	2	5	7	10
(1)	$U_{аб}$, $в$					
	$z_{х.ф}$, $ом$					
(2)	$U_{аб}$, $в$					
	$z_{х.ф}$, $ом$					

Величины E_1 и E_2 (табл. 2-6) подсчитываются по выражениям

$$E_1 = k_1 I_1 = (X_м - \sqrt{3}R) I_1 \text{ и } E_2 = k_2 I_2 = (X_м + \sqrt{3}R) I_2;$$

R берется из табл. 2-3 для величины k, принятой для настройки фильтра, а величина $X_м$ — из табл. 2-1.

Величины k в табл. 2-6 определяются из отношений $k = \frac{E_2}{E_1}$ по результатам подсчета и измерений.

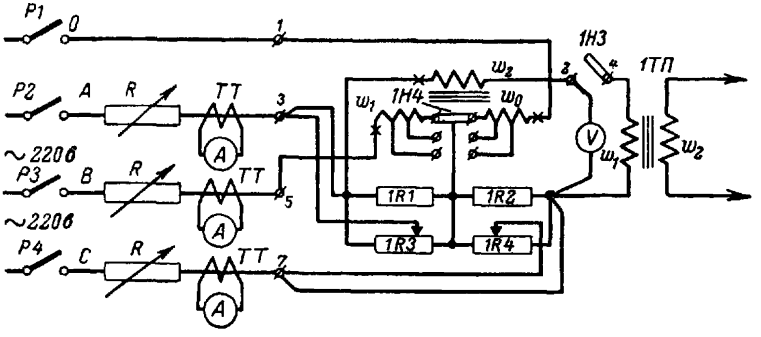


Рис. 2-3. Схема проверки соединений фильтра.
Р1—Р4—однополюсные рубильники; *R*—реостат:, *А*—амперметр; *V*—вольтметр; *ТТ*—трансформатор тока.

До измерений необходимо разомкнуть накладку *1Н3* и замкнуть рубильник P_1.

Подключение нулевого провода в схеме измерения обеспечивает независимую пофазную регулировку тока, что ускоряет установку трех равных токов. При втором измерении, соответствующем обратному чередованию фаз тока или подведению к фильтру системы то-

Таблица 2-6

Результаты проверки соединений фильтра по схеме рис. 2-3

Номера зажимов на входе фильтра			Электродвижущая сила фильтра, *в*				Уставка фильтра *k*		
3	*5*	*7*	Обозначение	Расчетные величины	Измеренные величины		расчетная	по измерениям	
Чередование фаз					$УI_{(1)}$	$УI_{(2)}$		$УI_{(1)}$	$УI_{(2)}$
A	*B*	*C*	E_1						
A	*C*	*B*	E_2						

ков обратной последовательности, необходимо поменять фазы тока на двух любых зажимах фильтра.

При правильном соединении фильтра отношение измеренных э. д. с. E_2 и E_1 должно быть равно k.

6. Проверка линейности фильтра. Цель измерения состоит в проверке зависимости э. д. с. фильтра от величины тока, протекающего по первичной обмотке w_1 трансреактора. Измерение производится по схеме рис. 2-3. К зажимам фильтра *3* и *5* подводится ток I_{AB} величиной 2—100 *а*. На выходе фильтра измеряется его э. д. с. Результаты измерений записываются в табл. 2-7.

Таблица 2-7

Результаты измерений линейности фильтра по схеме рис. 2-3

I_{AB}, *а*	2	5	10	20	40	60	80	100
$E_ф$, *в*								
$E_ф/I_{AB}$								

2-3. ПРОВЕРКА ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА *1ТП*

У промежуточного трансформатора *1ТП* проверяются сопротивления обмоток постоянному току, коэффициент трансформации между обмотками и сопротивление холостого хода.

1. Сопротивление обмоток постоянному току измеряется мостом постоянного тока; результаты измерений записываются в табл. 2-8.

Таблица 2-8

Результаты измерений сопротивления обмоток трансформатора 1ТП постоянному току

УЗ	R_1	R_2	R_3
(I)			
(2)			

2. Коэффициент трансформации трансформатора измеряется по схеме рис. 2-4.

При выполнении измерений необходимо помнить о высоком коэффициенте трансформации между обмотками w_1 и w_3 трансформатора. Последнее связано с большими напряжениями на обмотке w_3 и возможностью пробоя ее изоляции при сравнительно малом напряжении на обмотках w_1 и w_2. В полной схеме защиты большие напряжения на обмотке исключаются действием стабилизаторов.

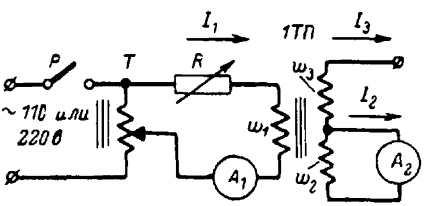


Рис. 2-4. Схема испытания промежуточного трансформатора 1ТП.

P — рубильник; *T* — автотрансформатор; *R* — реостат сопротивления; A_1 и A_2 — амперметры.

Измерение тока I_2 (рис. 2-4) производят для двух значений тока I_1 (3 и 5 *а*).

Затем, снизив ток I_1 до нуля, размыкают рубильник *P*, присоединяют амперметр к обмотке w_3 и при токах I_1 (3 и 5 *а*) измеряют ток I_3.

Результаты измерений записывают в табл. 2-9.

3. Измерение сопротивления холостого хода трансформатора производят со стороны обмотки w_2 по схеме рис. 2-5. Для предупреждения пробоя изоляции между витками трансформатора, помимо измерения напряжения U_2 на обмотке w_2, измеряют общее напряжение U_3 на обмотках w_2 и w_3, которое не должно превышать 150 *в*. Результаты измерений записывают в табл. 2-10.

Таблица 2-9

Результаты измерений по схеме рис. 2-4

y_1	(1)		(2)	
I_1, *а*	3	5	3	5
I_2, *а*				
$n_{т1-2}=\frac{I_1}{I_2}$				
I_3, *а*				
$n_{т1-3}=\frac{I_1}{I_3}$				

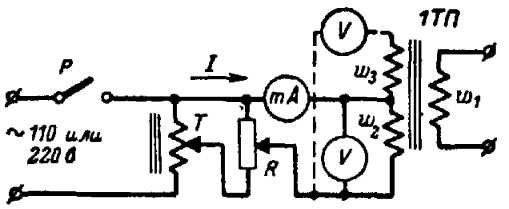


Рис. 2-5. Схема измерения сопротивлений холостого хода трансформатора 1ТП.

P — рубильник; *T* — автотрансформатор; *R* — реостат; *V* — вольтметр; *MA* — миллиамперметр.

Таблица 2-10

Результаты измерений сопротивления холостого хода трансформатора 1ТП $z_{х.х}=\frac{U_2}{I}$ (рис. 2-5)

y_1	(1)								(2)							
U_2, *в*	1	2	5	10	20	30			1	2	5	10	20	30		
U_2, *в*																
I, *ма*																
$z_{х.х}$, *ком*																

2-4. ПРОВЕРКА ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ *1СТ1* и *1СТ2*

Для четырех стабилизаторов напряжения защиты проверяется напряжение зажигания и зависимость напряжения стабилизации от

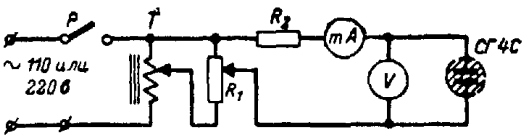


Рис. 2-6. Схема измерения напряжения зажигания стабилизаторов напряжения и проверки стабилизации.

P — рубильник; *T* — автотрансформатор; R_1 — реостат 40—50 *ом*; R_2 — реостат 500 *ом*; *мА* — миллиамперметр; *V* — вольтметр; СГ4С — газонаполненный стабилизатор напряжения.

тока стабилизатора. Испытания проводятся по схеме рис. 2-6. Результаты испытаний записываются в табл. 2-11.

Таблица 2-11

Результаты испытаний стабилизаторов типа СГ4С по схеме рис. 2-6

№ стабилизатора	1		2		3		4	
Напряжение зажигания, *в*								
Ток стабилизатора, *ма*	10	30	10	30	10	30	10	30
Напряжение на стабилизаторе, *в*								

Напряжение зажигания стабилизатора определяется по первому появлению свечения его электродов.

У исправных стабилизаторов напряжения типа СГ4С тлеющий разряд возникает при 108—110 $в_{действ.}$ Стабилизаторы с напряжением зажигания, превышающим 112 *в* или меньше 106 *в*, применять в защите не рекомендуется.

2-5. ИСПЫТАНИЕ ДИФФЕРЕЦИАЛЬНОГО РЕЛЕ *1ПР1*

Дифференциальное реле *1ПР1* является основным реле защиты, и поэтому оно должно быть подвергнуто наиболее тщательным испытаниям и в случае необходимости — регулировке.

У реле измеряются: расстояние между контактами, сопротивления рабочей и тормозной обмоток постоянному току, ток срабатывания и возврата, и снимается тормозная характеристика.

Расстояние между контактами δ реле, измеренное с помощью щупа, должно составлять 0,4—0,5 *мм*.

Измерение сопротивлений обмоток производится при помощи моста постоянного тока. Измеренное сопротивление обмоток не должно отличаться больше, чем на 5%, от следующих номинальных величин: $R_{раб}=1\,250$ *ом* и $R_т=80$ *ом*.

Токи срабатывания и возврата реле определяют при медленном и плавном изменении тока (рис. 2-7). В качестве источника питания схемы испытания следует использовать аккумуляторную батарею или генератор постоянного тока. Применение выпрямленного

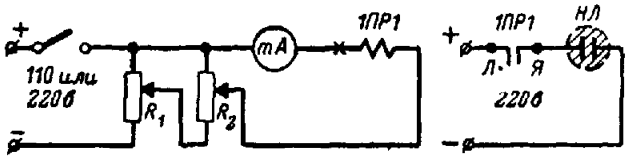


Рис. 2-7. Схема измерения токов срабатывания и возврата реле 1ПР1.

R_1 и R_2 — реостаты 1 000 *ом*; *мА* — миллиамперметр; *1ПР1* — реле дифференциальное; *НЛ* — неоновая лампа.

переменного тока с пульсирующей составляющей вносит неточность в настройку реле и поэтому не рекомендуется.

Ток срабатывания реле при питании рабочей обмотки должен составлять 2,4—2,5 *ма*, а при питании тормозной обмотки 19—20 *ма*. Коэффициент возврата реле должен находиться в пределах 0,4—0,5.

Замыкание контактов реле определяется по зажиганию неоновой лампы или по какому-нибудь другому прибору. Если измеренные величины δ, $I_{ср}$ и $k_в$ отличаются от номинальных величин, то необходимо произвести регулировку реле. Небольшие изменения тока срабатывания и возврата реле достигаются ввертыванием или вывертыванием регулировочных винтов неподвижных контактов. При значительном отклонении указанных величин от нормальных регулировка реле осуществляется в соответствии с подразделом 3—8.

Ввиду того что якорь реле подвешен на тонкой плоской стальной пружине, значительные нажатия на него при регулировке реле

Таблица 2-12

Результаты испытания реле *1ПР1*

У1	$R_{раб}$, *ом*	$R_{торм}$, *ом*	δ, *мм*	Рабочая обмотка			Тормозная обмотка
				$I_{ср}$, *ма*	$I_в$, *ма*	$k_в$	$I_{ср}$, *ма*
(1)							
(2)							

недопустимы, поскольку это может вызвать обрыв пружины, после чего реле выходит из строя.

По окончании регулировки следует хорошо затянуть все крепящие винты реле, что обеспечит стабильность его характеристик, и после этого еще раз проверить ток срабатывания и возврата реле.

Результаты измерений записываются в табл. 2-12.

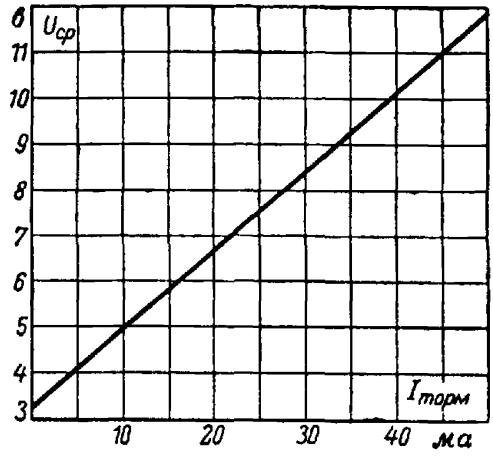


Рис. 2-8. Тормозная характеристика реле *1ПР1*.

$U_{ср.р} = f(I_{торм})$; $U_{ср.р}$ — напряжение срабатывания реле (напряжение на рабочей обмотке); $I_{торм}$ — ток тормозной обмотки реле.

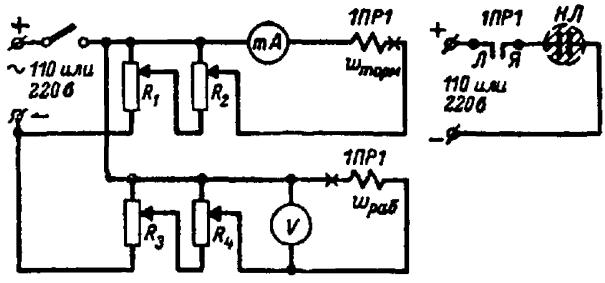


Рис. 2-9. Схема для снятия тормозной характеристики реле 1ПР1.

R_1, R_2, R_3 и R_4 — реостаты 1 000 *ом*; *мА* — миллиамперметр; *V* — вольтметр; *1ПР1* — реле дифференциальное; *НЛ* — неоновая лампа.

Тормозная характеристика реле $U_{ср} = f(I_т)$ (см. рис. 2-8) снимается по схеме рис. 2-9 для значения тормозного тока $I_т = 0$; 5; 10; 15 и 20 *ма*. Результаты измерений записываются в табл. 2-13.

Совпадение тормозных характеристик двух реле *1ПР1* показывает на полную идентичность реле.

Таблица 2-13

Тормозная характеристика реле *1ПР1*

У1	(1)					(2)				
$I_{торм}$, *ма*	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
$U_{ср}$, *в*										

2-6. ПРОВЕРКА ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ МОСТОВ *1МВ1* и *1МВ2*

Проверка исправности выпрямительных мостов может быть произведена с помощью катодного осциллографа ЭНО-1. Для этого к зажимам *3* и *7* фильтра через реостат подводится ток, равный 1 *а*, а вход осциллографа подключается к тормозной, а затем к рабочей обмоткам реле *1ПР1*.

Если все диоды моста исправны, то на экране осциллографа будет видно симметричное двухполупериодное выпрямленное пульсирующее напряжение. При неисправности диодов (короткое замыкание, обрыв) на экране осциллографа будет видно искаженное выпрямленное напряжение.

Неисправный диод находят поочередным подключением входа осциллографа к каждому диоду. Напряжение на закороченном диоде отсутствует, а на диоде с обрывом будет видно переменное напряжение. Неисправный диод заменяется новым типа Д7Г.

2-7. ПРОВЕРКА КОНДЕНСАТОРОВ *1С1* и *1С2*

У конденсатора *1С1* и *1С2* проверяют по заводской маркировке номинальное напряжение (должно быть равно 160 *в*) и емкость должна составить: $C_{1C1}=2$ *мкф*; $C_{1C2}=2$ *мкф*. Кроме того, методом вольтметра — амперметра измеряют действительную величину емкости. Результаты измерений записывают в табл. 2-14.

Таблица 2-14

Результаты измерений емкости конденсаторов *1С1* и *1С2*

У1	*1С1*				*1С2*			
	U, в	*I, а*	*z, ом*	*C, мкф*	*U, в*	*I, а*	*z, ом*	*C, мкф*
(1)								
(2)								

При измерении емкости конденсаторов напряжение переменного тока не должно превышать 50 *в*. Измеренная величина емкости должна соответствовать номинальным данным в пределах допускаемых отклонений.

2-8. ПРОВЕРКА ДОБАВОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ *1R5—1R8*

Сопротивления измеряются мостом постоянного тока. Результаты измерений записываются в табл. 2-15.

Таблица 2-15

Результаты измерений сопротивлений *1R5, 1R6, 1R7, 1R8*

У1	*1R5, ом*		*1R6, ом*		*1R7, ом*		*1R8, ом*	
	номинальное	измеренное	номинальное	измеренное	номинальное	измеренное	номинальное	измеренное
(1)	15 000		1 500		2 500*		5 000	
(2)			4 000		5 000		10 000	

* В числителе—для напряжения оперативного постоянного тока 110 *в*, в знаменателе—для 220 *в*.

Измеренные величины не должны отличаться от номинальных более чем на ±10%.

2-9. ПРОВЕРКА ИЗОЛИРУЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА *3ТИ*

У изолирующего трансформатора *3ТИ* проверяют: надежность крепления концов обмоток к панели; сопротивление обмоток постоянному току, сопротивление холостого хода; коэффициент трансформации.

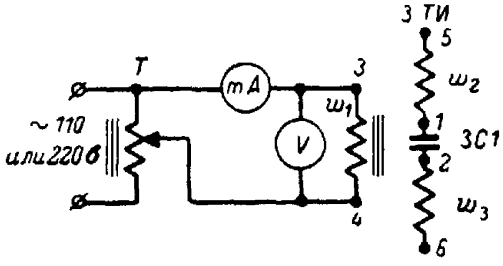


Рис. 2-10. Схема измерения сопротивления холостого хода трансформатора *3ТИ*.

Т — автотрансформатор; *3ТИ* — трансформатор изолирующий; *мА* — миллиамперметр; *V* — вольтметр.

Сопротивление обмоток постоянному току измеряют с помощью моста; оно должно быть равно: у первичной обмотки $R_1 \approx 8$ *ом*, у вторичной $R_2 \approx 150$ *ом*.

Сопротивление холостого хода трансформатора измеряют со стороны первичной обмотки по схеме рис. 2-10.

Коэффициент трансформации трансформатора определяется по схеме рис. 2-11 (конденсатор *3С1* должен быть закорочен).

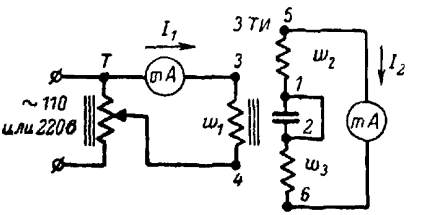


Рис. 2-11. Схема измерения коэффициента трансформации трансформатора *3ТИ*.
Т — автотрансформатор; *3ТИ* — трансформатор изолирующий; *мА* — миллиамперметры.

Результаты измерений записывают в табл. 2-16 и 2-17.

Таблица 2-16

Результаты измерений сопротивления холостого хода и сопротивления обмоток постоянному току трансформатора *3ТИ*

УЗ	(1)				(2)			
U, в	5	10	20	40	5	10	20	40
I, а								
z, ом								
R_1, *ом*								
R_2, *ом*								

Таблица 2-17

Коэффициент трансформации изолирующего трансформатора *3ТИ*

УЗ	(1)				(2)			
I_1, *ма*	20	30	40	50	20	30	40	50
I_2, *ма*								
$n_т$								

Сопротивление холостого хода трансформатора должно составлять 5400 *ом* при $U=20$ *в*.

Коэффициент трансформации трансформатора $n_т=\frac{I_1}{I_2}$ должен быть равен трем.

2-10. ПРОВЕРКА ВЫХОДНОГО РЕЛЕ *1РП*

У выходного реле *1РП* проверяют: сопротивление обмоток постоянному току; напряжение срабатывания и возврата; время срабатывания; длительность импульса тока, необходимого для срабатывания реле.

Измерение сопротивления двух параллельных и двух последовательных обмоток постоянному току выполняется мостом постоянного тока. Напряжения срабатывания и возврата реле *1РП* определяют для параллельной обмотки, включенной последовательно с сопротивлением *1R6* при разомкнутой накладке *1Н5*.

Результаты измерений записывают в табл. 2-18.

Таблица 2-18

Результаты измерений сопротивления обмоток реле *1РП* постоянному току и напряжений срабатывания и возврата

У1	$R_{пар1}$, *ом*	$R_{пар2}$, *ом*	$R_{пос1}$, *ом*	$R_{пос2}$, *ом*	$U_{ср}$, *в*	$U_{в}$, *в*
(1)						
(2)						

Примечание. $R_{пар\ 1}$, $R_{пар\ 2}$—сопротивления параллельных обмоток; $R_{пос\ 1}$, $R_{пос\ 2}$—сопротивления последовательных обмоток реле.

Время срабатывания реле *1РП* определяется миллисекундомером для номинального напряжения оперативного постоянного тока. Результаты измерений записывают в табл. 2-19.

Таблица 2-19

Результаты измерений времени срабатывания реле *1РП*

У1		$C_{1C4}=0$*	$C_{1C4}=30$ *мкф*
(1)	$t_{ср}$, *мсек*		
(2)			

* Накладка 1Н5 разомкнута.

Выше указывалось, что при обрыве вспомогательных проводов в редких случаях реле контроля может запаздывать с размыканием цепи выходного реле на время порядка 1 *мсек*, вследствие чего на последнее подается импульс постоянного тока. В связи с этим к выходному реле предъявляется требование, чтобы оно не срабатывало от импульса длительностью до 7 *мсек* при времени действия реле 20—25 *мсек* (см. подраздел 1-12). При времени действия реле 50 *мсек* оно не должно срабатывать от импульса в 40 *мсек*.

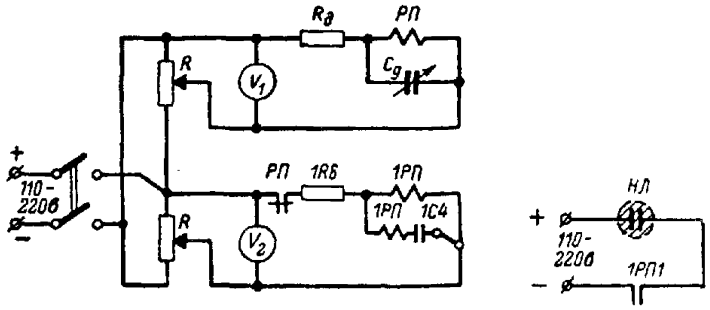


Рис. 2-12. Схема измерения длительности импульса, при котором срабатывает выходное реле *1РП*.

РП — реле промежуточное типа РП-211; *1R6* — сопротивление добавочное к реле 1РП; *1С4* — конденсатор к реле *1РП*; $R_д$ — сопротивление добавочное к реле *РП*; $C_д$ — магазин емкостей; *R* — реостаты; V_1 и V_2 — вольтметры; *НЛ* — неоновая лампа.

Импульсная характеристика реле проверяется испытанием.

Минимальная длительность импульса постоянного тока, вызывающего срабатывание реле *1РП* при номинальном напряжении постоянного тока $U_{ном}$ определяется по схеме рис. 2-12.

В этой схеме в качестве датчика импульсов заданной длительности используется быстродействующее промежуточное реле *РП*, например реле типа РП-211.

Перед снятием импульсной характеристики реле *1РП* с помощью миллисекундомера определяется величина емкости $C_д$ конденсатора, необходимая для получения заданного времени размыкания контактов реле *РП* при подаче на реле напряжения $U_{ном}$. Результаты этих измерений записывают в табл. 2-20.

Таблица 2-20

Результаты измерений времени размыкания контактов реле *РП* в зависимости от емкости $C_д$

$t_{ср}$, *мсек*	5	7	9	10	11	20	40	60	Примечание
$C_д$, *мкф*									$U_{ном}$, *в*

В схеме рис. 2-12 определяется минимальная длительность импульса постоянного тока, вызывающего срабатывание реле *1РП*. Результаты измерений записывают в табл. 2-21.

Таблица 2-21

Минимальная длительность импульса тока, вызывающего срабатывание реле *1РП*

У1	$t_{ср.\ мин}$, *мсек*		Примечание
	C_{1C4}==0*	C_{1C4}=30 *мкф*	
(1)			$U_{ном}$ = . . . *в*
(2)			

* Накладка 1Н5 разомкнута.

2-11. ПРОВЕРКА ЭЛЕМЕНТОВ УСТРОЙСТВА ПИТАНИЯ ЦЕПЕЙ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

В устройстве контроля проверяют: поляризованные реле *1ПР2* и *2ПР1*, стабилизированный трансформатор напряжения *2ТН*, дроссель *2Д*, сопротивления *2R1—2R5*, конденсаторы *2С2* и *2С3*, выпрямительный мост *2МВ1* и германиевые диоды *2ДГ1* и *2ДГ2*.

2-12. ПРОВЕРКА ПОЛЯРИЗОВАННОГО РЕЛЕ *1ПР2*

У поляризованного реле *1ПР2* проверяют: расстояние между контактами, сопротивления $R_{раб}$, $R_{торм}$ и $R_{комп}$ рабочей, тормозной и компенсационной обмоток, ток срабатывания и возврата.

Перед проверкой регулировки реле необходимо тщательно произвести чистку контактов от нагара и окиси.

Расстояние δ между контактами реле должно составлять 0,4—0,5 *мм*.

Сопротивления обмоток измеряют мостом постоянного тока. Результаты измерений записывают в табл. 2-22.

Ток срабатывания реле при подведении тока только к его рабочей обмотке должен составлять 2,4 *ма*. Коэффициент возврата реле должен быть равен $k_в$=0,5.

Ток срабатывания и возврата реле определяется по схеме рис. 2-7.

Если ток срабатывания испытываемого реле отличается больше чем на 10% от величины 2,4 *ма*, то необходимо произвести его регулировку.

Также проверяется ток срабатывания реле *1ПР2* при наличии тормозного тока, равного 22—24 *ма*. Ток срабатывания при этом должен быть порядка 4,1 *ма*, а ток возврата — не менее 2,7 *ма*.

Таблица 2-22

Результаты измерений сопротивления обмоток реле *1ПР2*

У1	Измеренные величины, *ом*		
	$R_{раб}$	$R_{торм}$	$R_{комп}$
(1)			
(2)			
Номинальные величины	900	75	12

Для обеспечения стабильности характеристик реле по окончании его испытания необходимо тщательно проверить затяжку всех крепящих винтов и после этого еще раз проверить ток срабатывания и возврата реле. Результаты испытаний записываются в табл. 2-23.

Таблица 2-23

Результаты измерений токов срабатывания и возврата реле *1ПР2*

У1	$I_{ср}$, *ма*	$I_{в}$, *ма*	$к_{в}$
(1)			
(2)			

2-13. ПРОВЕРКА ПОЛЯРИЗОВАННОГО РЕЛЕ *2ПР1*

У поляризованного реле *2ПР1* измеряют: расстояние между контактами, сопротивление обмотки, токи срабатывания и возврата. Реле при этом должно удовлетворять следующим требованиям. Со-

Таблица 2-24

Результаты испытания реле *2ПР1*

R, *ом*	$I_{ср}$, *ма*	$I_{в}$, *ма*	$к_{в}$

противление обмотки, измеренное постоянным током, должно составлять 8 600 *ом*, ток срабатывания 0,8 *ма*, коэффициент возврата 0,3—0,6, расстояние между контактами 0,35—0,5 *мм*.

Ток срабатывания и возврата реле определяется по схеме рис. 2-7. Результаты испытаний записывают в табл. 2-24.

2-14. ПРОВЕРКА СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ТРАНСФОРМАТОРА *2ТИ*

У трансформатора *2ТН* проверяют: сопротивление обмоток постоянному току, коэффициенты трансформации и сопротивление холостого хода.

Сопротивление обмоток измеряется мостом постоянного тока и результаты измерения записываются в табл. 2-25.

Таблица 2-25

Результаты измерений сопротивления обмоток трансформатора *2ТН* постоянному току

R_1, *ом*	R_2, *ом*	R_3, *ом*

Коэффициенты трансформации $n_{т1_2}$—между обмотками w_1 и w_2, $n_{т1_3}$ — между обмотками w_1 и w_3 (отношение вторичного тока к первичному) определяются измерением по схеме рис. 2-4 при включении амперметра A_2 сначала на обмотку w_2 и затем на обмотку w_3. Напряжение на первичной обмотке трансформатора не должно при этом превышать 25 *в*, так как при бóльших напряжениях начинается насыщение стали трансформатора, что исказит результаты измерения.

Таблица 2-26

Результаты измерений коэффициентов трансформации трансформатора *2ТН*

Амперметр A_2 включен на обмотку w_2	I_1, *ма*		
	I_2, *ма*		
	$n_{т1-2}$		
Амперметр A_2 включен на обмотку w_3	I_1, *ма*		
	I_2, *ма*		
	$n_{т1-3}$		

Сопротивление холостого хода трансформатора измеряется по схеме рис. 2-10; напряжение подается на первичную обмотку трансформатора. Результаты измерения записывают в табл. 2-27.

Таблица 2-27

Результаты измерений сопротивления холостого хода трансформатора *2ТН*

U, в	5	10	20	40	80	100	120	140
I, ма								
$z_{х.х}$, *ма*								

2-15. ИСПЫТАНИЕ ДРОССЕЛЯ *2Д*

У дросселя *2Д* измеряют сопротивление обмотки постоянному току и зависимость полного сопротивления от напряжения переменного тока (рис. 2-13).

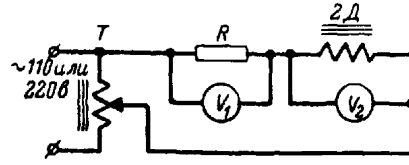


Рис. 2-13. Схема измерения полного сопротивления дросселя 2Д.

T — автотрансформатор; *R* — сопротивление 100 *ом*; V_1 и V_2 — вольтметры.

Ток, протекающий через дроссель, составляет доли миллиампера; в связи с этим его величина определяется по падению напряжения на сопротивлении *R*.

Результаты измерения записывают в табл. 2-28.

Таблица 2-28

Результаты измерений полного сопротивления и сопротивления постоянному току дросселя *2Д*

U, в	50	70	100	150	200	220
I, ма						
z, ом						
R, ом						

2-16. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ *2R1—2R5*

Сопротивления *2R1—2R5* измеряются с помощью моста постоянного тока. Для регулируемых сопротивлений *2R3*, *2R4* и *2R5* измеряется максимальная величина. Результаты измерений записывают в табл. 2-29.

Таблица 2-29

Результаты измерения сопротивлений *2R1—2R5*

Величины	*2R1*	*2R2*	*2R3*	*2R4*	*2R5*
Номинальные, *ом* . .	10 000	100 000	0—1 000	0—560	0—12
Измеренные, *ом* . . .					

Нерегулируемые сопротивления не должны отличаться от номинальных больше, чем на ±10%.

2-17. ПРОВЕРКА ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ *2C2* и *2C3*

К емкости электролитических конденсаторов *2C2* и *2C3* в связи с их назначением в схеме защиты не предъявляются требования высокой точности, и величина ее проверяется косвенно, по соответствию заводской маркировки с данными схемы защиты.

Результаты проверки записывают в табл. 2-30.

Таблица 2-30

Результаты проверки маркировки конденсаторов

Данные	*2C2*	*2C3*
Номинальные (по схеме защиты)	Тип ЭГЦ 2×200 *мкф*, 50 *в*	Тип ЭГЦ 200 *мкф*, 50 *в*
Заводская маркировка		

Емкость конденсаторов *2C2* может быть проверена по времени возврата реле *1ПР2* после отключения напряжения питания 100 *в* от первичной обмотки трансформатора *2ТН* при испытании устройства контроля в полной схеме защиты, что рассмотрено в подразделе 2-37.

Емкость конденсатора *2C3* проверяется отсутствием на нем пульсаций напряжения (см. подраздел 2-18).

2-18. ПРОВЕРКА ГЕРМАНИЕВЫХ ДИОДОВ *2ДГ1, 2ДГ2* И ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО МОСТА *2МВ*

Проверка исправности диодов может быть произведена с помощью катодного осциллографа. При этом к зажимам *2* и *4* (выход) устройства питания *У2* подключается сопротивление порядка

2 000 *ом*, а на зажимы *5* и *7* (вход) от автотрансформатора подается переменное напряжение 100 *в*. По вольтметру постоянного тока, подключенному к зажимам *2* и *4*, с помощью потенциометра *2R4* подается напряжение, равное приблизительно 11 *в*. Поочередным включением входа осциллографа на каждый диод моста по фигуре на экране осциллографа определяется исправность диодов.

Проверка диода *2ДГ1* аналогична проверке диодов *2ДГ2*. Для создания тока в цепи этих диодов зажимы *4* и *9* устройства *У2* соединяются металлически; кнопка *2К1* должна быть при этом нажата.

Емкость конденсатора *2С3* достаточна, если пульсация переменной составляющей напряжения на конденсаторе *2С3* мала, что проверяется катодным осциллографом.

2-19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ, ПРИ КОТОРОМ СРАБАТЫВАЕТ РЕЛЕ *2ПР1*

Реле *2ПР1* предназначено для автоматического контроля сопротивления изоляции вспомогательных проводов относительно земли. Для определения максимального сопротивления изоляции вспомогательных проводов относительно земли, при котором срабатывает реле *2ПР1* (рис. 2-14), необходимо:

а) включить между зажимами *4* и *9* устройства *У2* магазин сопротивлений и установить на нем $R=50\,000$ *ом*;

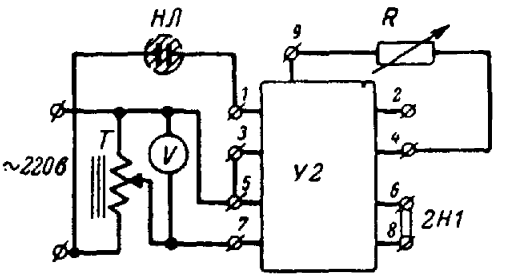


Рис. 2-14. Схема для определения максимального сопротивления изоляции вспомогательных проводов, при котором срабатывает реле 2ПР1.

Т — автотрансформатор; *НЛ* — неоновая лампа; *R* — магазин сопротивлений 50 000 *ом*.

б) замкнуть накладку *2Н1* (зажимы *6* и *8*);

в) подать переменное напряжение 100 *в* на зажимы *5* и *7*;

г) плавно снижая сопротивление *R*, отметить момент срабатывания реле *2ПР1* и записать сопротивление, установленное при этом на магазине сопротивлений.

Реле должно срабатывать при $R \leqslant 20\,000$ *ом*. Для фиксации момента срабатывания реле *2ПР1* в схеме используется неоновая лампа.

2-20. ГРАДУИРОВКА МИКРОАМПЕРМЕТРА *2Г*

На вход устройства *У2* (зажимы *5* и *7*), как и в предыдущем испытании, подается переменное напряжение 100 *в*. Микроамперметр *2Г* градуируют с помощью шунта *2R3* — для измерения сопротивления изоляции вспомогательных проводов относительно земли, а с помощью шунта *2R5* — для измерения тока контроля вспомогательных проводов.

Градуировка *2Г* для измерения изоляции производится по схеме *2* и *14* при металлическом соединении зажимов *4* и *9* устройства *У2*, что соответствует условию, при котором сопротивление изоляции вспомогательных проводов относительно земли равно нулю. Нажав кнопку *2K1*, с помощью шунта *2R3* доводят показание прибора *2Г* до 100 делений, после чего ползушка шунта закрепляется. Включив между зажимами *4* и *9* устройства *У2* высокоомный магазин сопротивления и изменяя его сопротивление, записывают показания прибора в табл. 2-31.

Таблица 2-31

Градуировка микроамперметра *2Г* для измерения изоляции вспомогательных проводов

R, ком																	
Показание прибора в делениях																	

В графу *R* целесообразно записывать величины, соответствующие целым делениям шкалы прибора.

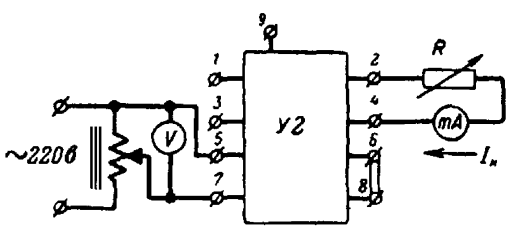


Рис. 2-15. Схема проверки градуировки прибора *2Г* для измерения тока контроля.

I — автотрансформатор; *V* — вольтметр; *R* — магазин сопротивлений 3 000 *ом*; *мА* — миллиамперметр 10 *ма* класса 0,5 ÷ 1.

Градуировка прибора *2Г* для измерения тока контроля производится по схеме рис. 2-15 в такой последовательности:

а) между зажимами *2* и *4* устройство *У2* включается сопротивление порядка 3 000 *ом* последовательно с миллиамперметром постоянного тока (предел измерения 6—10 *ма*, класс 0,5—1);

б) потенциометром *2R4* по миллиамперметру устанавливают ток контроля, равный 5,5 *ма*;

в) при нажатой кнопке *2К2* с помощью шунта *2R5* устанавливают показание микроамперметра *2Г*, равное 55 делениям. По окончании градуировки *2Г* необходимо закрепить ползушку шунта *2R5*.

2-21. ПРОВЕРКА ПРЕДЕЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА КОНТРОЛЯ ПОТЕНЦИОМЕТРОМ *2R4*

Защита *ДЗЛ-1* может быть применена при сопротивлении вспомогательных проводов от нескольких десятков до 2 000 *ом*. При этом потенциометр *2R4* во всех случаях должен позволять установить номинальный ток контроля, равный 5,5 *ма*, обеспечивающий правильную работу реле *1ПР2*.

Ток контроля протекает по контуру, состоящему из вспомогательных проводов, рабочих обмоток двух реле *1ПР2* и вторичных обмоток двух трансформаторов *3ТИ*. Сопротивление обмотки каждого реле составляет 900 *ом*, а обмотки трансформатора 150 *ом*. Следовательно, сопротивление всей цепи тока контроля может составлять 2 000—4 000 *ом*.

Для проверки пределов регулирования тока контроля используется схема рис. 2-15. Между зажимами *2* и *4* устройства *У2* включаются сопротивление 2 000 *ом* и миллиамперметр; потенциометром *2R4* устанавливается ток, равный 5,5 *ма*, затем опыт повторяется для $R=4\,000$ *ом*.

Если потенциометр *2R4* в обоих случаях обеспечивает ток контроля, равный 5,5 *ма*, то это означает, что потенциометр *2R4* выбран правильно.

2-22. ПРОВЕРКА СТАБИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА *2ТН*

Насыщающийся трансформатор *2ТН* и конденсатор *2С1* стабилизируют вторичные напряжения и ток контроля вспомогательных проводов, обеспечивая правильную работу всего устройства контроля и реле *1ПР2* в случае отклонения переменного напряжения от номинальной величины 100 *в*.

Для проверки стабилизации вторичных напряжений используется схема рис. 215 (в данном случае сопротивление *R* должно быть равно 3 000 *ом*). К первичной обмотке трансформатора *2ТН* (зажимы *5* и *7*) с помощью автотрансформатора подается напряжение 100 *в*, потенциометром *2R4* (см. рис. 1-1) устанавливается ток контроля, равный 5,5 *ма*.

Таблица 2-32

Зависимость тока контроля $I_к$ от напряжения $U_{вх}$ на входе устройства *У2*

$U_{вх}$, *в*	80	85	90	95	100	105	110	115	120
$I_к$, *ма*					5,5				
$\frac{I_к}{5,5}100$					100				

Изменяя напряжение на входе трансформатора *2ТН* в соответствии с табл. 2-32, производят измерение этого напряжения и тока контроля. Результаты измерений записываются в табл. 2-32.

Если при изменении напряжения на ±10% номинальной величины 100 *в* ток контроля изменяется не больше чем на ±3%, то стабилизация удовлетворительна.

2-23. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ $R_{2\,ср} = f(I_{во})$ ДЛЯ ПОЛУКОМПЛЕКТА ЗАЩИТЫ

Зависимость $R_{2ср}=f(I_{во})$ для полукомплекта защиты находится измерением по схеме рис. 2-16. Полученные при этом результаты определяют селективность и чувствительность защиты.

В схеме рис. 2-16 для нескольких значений тока $I_{во}$ в соответствии с табл. 2-33 при плавном изменении сопротивления R_2 определяются такие величины сопротивлений $R_{2ср}$, при которых реле

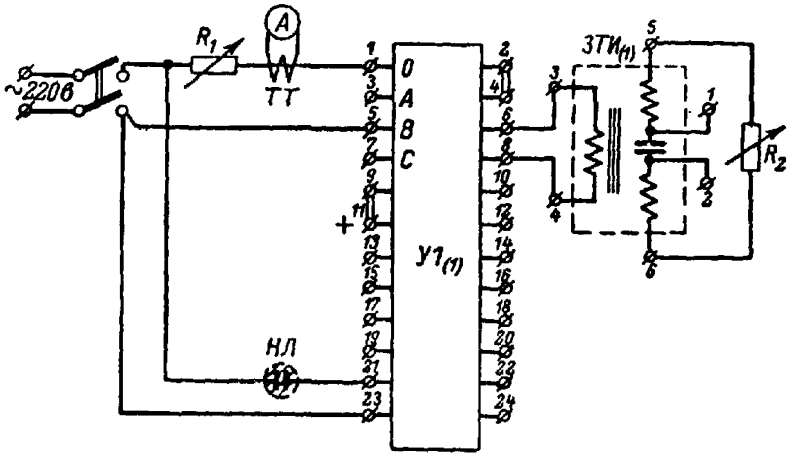


Рис. 2-16. Схема снятия характеристики $R_{2ср} = f(I_{во})$ для полукомплекта защиты.
R_1 — реостат 100 *ом*, 15 *а*; *ТТ* — трансформатор тока; *А* — амперметр; *НЛ* — неоновая лампа; R_2 — магазин сопротивлений.

1ПР1 срабатывает. Максимальное сопротивление магазина R_2 не должно быть менее 10 000 *ом*.

Как видно из рис. 2-16, на зажимы *11* и *20* устройства *1* подается постоянное номинальное напряжение, а зажимы *9* и *11* закорачиваются, чем шунтируется контакт реле *1ПР2*.

В данном испытании можно найти зависимость $R_{2ср}$ от величины тока и при других видах повреждения, например *АО*, *СО*, *АВ* и т. д. Рекомендуемый в данном испытании вид короткого замыкания $I_{во}$ наиболее удобен тем, что при этом э. д. с. фильтра не зависит от настройки фильтра по коэффициенту *k*.

Результаты испытаний записывают в табл. 2-33, и по данным измерений строится график $R_{2ср}=f(I_{во})$ (см. рис. 1-16).

Полукомплекты защиты считаются выполненными и отрегулированными удовлетворительно, если при токах 15—25 *а* в независимой части характеристики $R_{2ср}=f(I_{во})$ $R_{2ср.мин}=2\,500\pm125$ *ом*, а оба

Таблица 2-33

Результаты измерения сопротивлений срабатывания

$R_{2ср} = f(I_{B0})$, $h = 1$, $k = \ldots$

Полукомплекты	(1)										
$I_{(B0)}$, *а*	2	3	3,5	4	5	6	7	10	15	20	30
$R_{2ср}$, *ом*											

Продолжение

Полукомплекты	(2)										
$I_{(B0)}$, *а*	2	3	3,5	4	5	6	7	10	15	20	30
$R_{2ср}$, *ом*											

полукомплекта защиты отличаются друг от друга по $R_{2ср}$ не больше чем на 125 *ом*.

Наибольшее влияние на $R_{2ср}$ полукомплекта защиты оказывают:

а) параметры реле *1ПР1*: число витков обмоток напряжения и тока, сопротивление обмотки напряжения и ток срабатывания реле (ампер-витки срабатывания);

б) коэффициент трансформации изолирующего трансформатора *3ТИ*.

Последнее следует из выражений (П-7-3) и (П-7-5), определяющих характеристику реле *1ПР1*, приведенных выше, в подразделе 1-6.

В случае существенного отклонения $R_{2ср}$ от величины 2 500 *ом* или неидентичности полукомплектов защиты необходимо проверить соответствие результатов испытания реле *1ПР1* и трансформаторов *3ТИ* их номинальным данным.

2-24. ПРОГРАММА ТИПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТЫ

В программу типовых испытаний защиты входят:

А. Сборка схемы испытания защиты и проверка ее.

Б. Испытание защиты при коротком замыкании в зоне в режиме одностороннего питания:

1) определение зависимости тока срабатывания защиты от сопротивления и емкости вспомогательных проводов при $h=1$, $k=-6$;

2) определение зависимости тока срабатывания защиты от вида короткого замыкания (*АО*, *ВО*, *СО*, *АВ*, *ВС*, *АС*, *АСВ*) и величины k при средней длине вспомогательных проводов (сопротивление проводов $R_{пр}=600$ *ом*, емкость между проводами $C_{пр}=0{,}45$ *мкф*) и $h=1$;

3) измерение времени срабатывания защиты в зависимости от кратности тока короткого замыкания в отношении тока срабатывания защиты при $h=1$; $k=-6$ и средней длине линии вспомогательных проводов;

4) определение зависимости тока срабатывания защиты от уставки h (1,5 и 2) при $k=-6$ и при средней длине линии вспомогательных проводов;

5) определение минимального тока контроля, при котором прекращается вибрация реле *1ПР2* при $h=1$; $k=-6$; $I_{AC}=80$ *а*; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$.

В. Испытание защиты при коротком замыкании в зоне защиты в режиме двустороннего питания:

1) определение зависимости величины тока срабатывания защиты одного конца линии от величины тока короткого замыкания второго конца линии при разной длине линий вспомогательных проводов, $h=1$; $k=-6$;

2) измерение времени действия защиты в зависимости от кратности тока короткого замыкания к току срабатывания защиты при средней длине линии вспомогательных проводов, $h=1$; $k=-6$.

Г. Испытание защиты в режиме внешнего короткого замыкания:

1) снятие тормозных характеристик защиты: $I_{AC\,ср(1)}=f(I_{AC(2)})$ при $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$; $h=1$, $k=-4$ и при фазовом сдвиге вторичных токов по концам защищаемой линии, равном 155, 180 и 205°;

2) то же, что в п. 1, но $R_{пр}=1\,500$ *ом*; $C_{пр}=1$ *мкф*;

3) то же, что в п. 1, но $h=2$;

4) то же, что в п. 1, но $h=2$, $R_{пр}=1\,500$ *ом*; $C_{пр}=1$ *мкф*.

Д. Испытание защиты при передаче нагрузки, неисправности линии вспомогательных проводов и в других режимах:

1) проверка поведения защиты при однократных четких обрывах в начале и в конце линии вспомогательных проводов при $h=1$, $k=-4$; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$; $I_k=5{,}5$ *ма*; $I_{B0}=5$ *а*;

2) то же, что в п. 1, но при многократных очень кратковременных обрывах и замыканиях в начале линии вспомогательных проводов;

3) проверка поведения защиты и реле *1ПР2* при замыкании и последующем размыкании зажимов вторичной обмотки изолирующего трансформатора *3ТИ* при $h=1$; $k=-4$; $R_{пр}=1\,500$ *ом*; $C_{пр}=1$ *мкф* и $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$; $I_k=5{,}5$ *ма*; $I_A=I_B=I_C=5$ *а*;

4) проверка времени возврата реле *1ПР2* при снятии напряжения питания с первичной обмотки трансформатора *2ТН* при $h=1$, $k=-4$; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$, а также при $R_{пр}=1\,500$ *ом*; $C_{пр}=1$ *мкф*;

5) измерение потребления мощности в цепях тока защиты при $h=1$, $k=-4$, $I_A=I_B=I_C=5$ *а*.

2-25. СХЕМА ИСПЫТАНИЯ И ПРОВЕРКА ЕЕ

Схема испытания защиты приведена на рис. 2-17. В этой схеме вспомогательные провода имитируются моделью линии *МЛ*, изображенной на рис. 2-18, которая позволяет изменять активное сопротивление от 0 до 1 400 *ом* и рабочую емкость (емкость между проводами линии) от 0 до 1,05 *мкф*.

Питание устройства *У2* (см. рис. 2-17) производится от автотрансформатора *Т* подачей напряжения на входные зажимы *5* и *7*. Ток контроля вспомогательных проводов и рабочих обмоток реле *1ПР2* проверяется миллиамперметром *мА*.

Питание токовых цепей каждого полукомплекта защиты в схеме рис. 2-17 может производиться раздельно — от сети и фазорегулятора, что необходимо для снятия тормозных характеристик за-

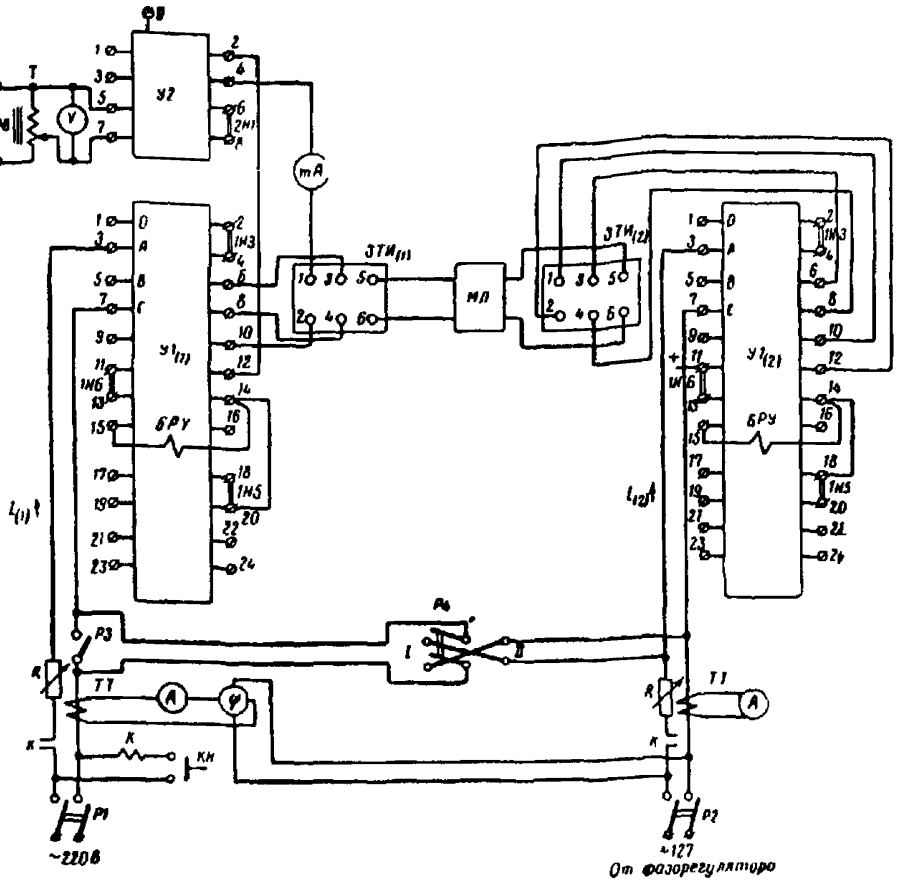


Рис. 2-17. Схема испытания защиты.

МЛ—модель кабельной линии вспомогательных проводов; *Р1*, *Р2*, *Р3*—рубильники; *Р4*—переключатель; *К*—контактор; *ТТ*—трансформатор тока; *А*—амперметр; *мА*—миллиамперметр 10 *ма*, 10—20 *ом*; *V*—вольтметр; *φ*—фазометр; *R*—реостат; *Т*—автотрансформатор; *КН*—кнопка для управления контактором; *БРУ*—указательное реле типа ЭС-21/110 (220).

Примечание. Накладки 1Н5 должны быть разомкнуты, а минус питания постоянного тока подан на зажимы *20* устройства У2.

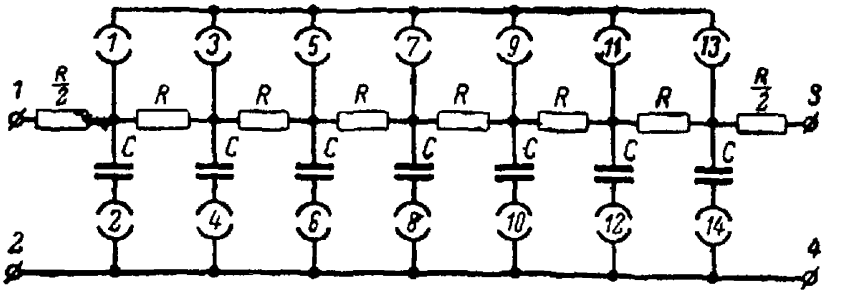


Рис. 2-18. Модель кабельной линии вспомогательных проводов.

R—сопротивление типа МЛТ 200 *ом*, 0,5 *вт*; *С*—конденсатор 0,15 *мкф*, 400 *в*.

щиты. При отключенном фазорегуляторе и питании от сети (рубильник *Р3* замкнут, а *Р4* — разомкнут) осуществляется режим одностороннего питания. Режим двустороннего питания места повреждения линии с равными по величине и фазе токами по концам линии выполняется включением рубильников *Р1* и *Р4* (положение I).

Режим внешнего повреждения с равными по величине и фазе токами устанавливается в схеме испытания включением рубильников *Р1* и *Р4* (положение II).

Мощный контактор *К*, управляемый кнопкой *КН*, позволяет быстро включать и отключать большие токи при испытании защиты. Фазометр φ измеряет фазовый сдвиг токов $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$ при снятии тормозных характеристик защиты.

После сборки схемы рис. 2-17 у модели линии шунтируется сопротивление ($R_{пр}=0$) и отключаются все конденсаторы ($C_{пр}=0$).

По действию выходного реле *1РП* и реле контроля *1ПР2* проверяют:

а) правильность сборки схемы по переменному току;

б) соответствие полярности включения рабочей, тормозной и компенсационной обмоток реле *1ПР2* принципиальной схемы защиты.

У фильтров тока обоих полукомплектов регулируются уставки $h=1$ и $k=-6$.

Для проверки схемы испытания к защите подается номинальное напряжение постоянного тока. Замыкающие контакты реле *1ПР2* замыкаются от руки и удерживаются в таком положении с помощью тонких деревянных клиньев.

Замкнув рубильники *Р1* и *Р3*, устанавливают ток $I_{(1)}=I_{AC}=8\ a$ (режим одностороннего питания, короткое замыкание в зоне); при этом оба полукомплекта защиты должны действовать на отключение. Затем проверяется действие защиты в режиме сквозного короткого замыкания (*Р4* в положении II) и короткого замыкания в зоне при двустороннем питании (*Р4* в положении I). В первом случае реле *1ПР1* и *1РП* работать не должны, а во втором случае защита должна действовать на отключение.

В случае, если поведение защиты отличается от указанного, необходимо тщательно проверить сборку схемы испытания.

Правильность включения обмоток реле *1ПР2* определяется по токам срабатывания и возврата реле при включении сначала рабочей обмотки, затем тормозной и компенсационной обмоток.

Ток срабатывания и возврата реле *1ПР2* при протекании тока только по рабочей обмотке реле определяется плавным изменением тока контроля с помощью потенциометра *2R4*, при этом с защиты должны быть предварительно сняты напряжения постоянного и переменного тока.

Затем на устройства $У1_{(1)}$ и $У1_{(2)}$ подается напряжение постоянного тока, при этом накладки *1Н6* (зажимы *11* и *13*) должны быть замкнуты, что вызывает ток в тормозной обмотке реле *1ПР2*. Плавным увеличением тока контроля от нуля вторично определяется ток срабатывания реле, а при снижении тока — ток возврата реле.

Для проверки полярности включения компенсационной обмотки реле *1ПР2* устройства $У1_{(1)}$ устанавливается ток $I_{BO}=5\ a$ при одностороннем питании со стороны устройства $У1_{(1)}$ и аналогично предыдущему определяются новые значения тока срабатывания и возврата реле *1ПР2*.

Затем отключается рубильник *Р1* и включается рубильник *Р2*. Устанавливается ток $I_{во}=5$ *а* со стороны устройства $УI_{(2)}$ и определяются токи срабатывания и возврата реле *1ПР2* устройства $УI_{(2)}$. Результаты измерений записывают в табл. 2-34.

Таблица 2-34

Результаты измерений токов срабатывания и возврата реле *1ПР2*

УI	Включена только рабочая обмотка				Включены рабочая и тормозная обмотки				Включены рабочая, тормозная и компенсационная обмотки			
	Должно быть, *ма*		Измерено, *ма*		Должно быть, *ма*		Измерено, *ма*		Должно быть, *ма*		Измерено, *ма*	
	$I_{ср}$	$I_{в}$	$I_{ср}$	$I_{в}$	$I_{ср}$	$I_{в}$	$I_{ср}$	$I_{в}$	$I_{ср}$	$I_{в}$	$I_{ср}$	$I_{в}$
(1)	2,5	1,25	—	—	4,1	2,7	—	—	3,35	2,6	—	—
(2)												

Полярность включения обмоток реле *1ПР2* выполнена правильно, если измеренные величины соответствуют данным таблицы.

После указанных проверок в схеме защиты устанавливается номинальный ток контроля $I_к=5{,}5$ *ма*. При последующих изменениях «длины» линии вспомогательных проводов необходимо каждый раз производить регулировку тока контроля до величины 5,5 *ма*, так как ток контроля подмагничивает трансформаторы *ЗТИ*, оказывая некоторое влияние на характеристики защиты.

2-26. ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЕМКОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

Эта зависимость определяется для уставок защиты $h=1$; $k=-6$ по схеме рис. 2-17 при одностороннем питании со стороны устройства $УI_{(1)}$ при коротком замыкании *ВО*. Ток срабатывания определяется для обоих полукомплектов защиты при плавном увеличении тока.

Результаты измерений записываются в табл. 2-35, и по ее данным строится график (см. рис. 1-21).

Таблица 2-35

Зависимость тока срабатывания защиты от сопротивления и емкости вспомогательных проводов

$R_{пр}$, *ом*		0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400
$C_{пр}$, *мкф*		0	0,15	0,3	0,45	0,60	0,75	0,9	1,05
$I_{сз}$, *а*	$УI_{(1)}$	—	—	—	—	—	—	—	—
	$УI_{(2)}$								

2-27. ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВИДА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И УСТАВКИ *k*

Ток срабатывания защиты определяется по схеме рис. 2-17 при одностороннем питании со стороны устройства $УЗ_{(1)}$ при неизменной величине $h=1$ и средней длине вспомогательных проводов ($R_{пр}=600$ *ом*, $C_{пр}=0{,}45$ *мкф*) для коротких замыканий *А*0, *В*0, *С*0, *АВ*, *ВС*, *АС* и уставок *k* фильтра, равных *—4*, *—6*, *—8*, *—10*.

Ток срабатывания определяется при плавном увеличении тока. Результаты измерений записывают в табл. 2-36.

Таблица 2-36

Зависимость тока срабатывания защиты от уставки *k* при различных видах коротких замыканий

УЗ	Вид короткого замыкания						*k*
	АО	*В*0	*С*0	*АВ*	*АС*	*ВС*	
	Ток срабатывания, *а*						
(1)							—4
(2)							
(1)							—6
(2)							
(1)							—8
(2)							
(1)							—10
(2)							

По результатам измерений строят график, аналогичный рис. 1-22.

2-28. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ В РЕЖИМЕ ОДНОСТОРОННЕГО ПИТАНИЯ

В схеме рис. 2-17 имитируются одностороннее питание со стороны устройства $УЗ_{(1)}$ и короткое замыкание *АС*. Для фильтров тока регулируются уставки $h=1$; $k=-6$, а на модели линии устанавливается $R_{пр}=600$ *ом*; $C_{пр}=0{,}45$ *мкф*.

Зависимость времени действия защиты от кратности тока короткого замыкания по отношению к току срабатывания с учетом выходного реле измеряется для устройства $УЗ_{(1)}$ миллисекундомером. Уставка времени выходного реле *1РП* устанавливается минимальной.

Для измерения времени действия защиты при больших токах короткого замыкания (20—80 *а*) пусковой ключ $К_3$ миллисекундо-

мера включается в рассечку накладки *1Н3* (рис. 2-19), т. е. во вторичную цепь трансреактора, где токи примерно в 6 раз меньше токов первичной цепи фильтра токов. Включение облегчает работу ключа K_3 и не вносит погрешностей в измерение. Соединение зажимов *7* и *9* миллисекундомера с зажимами *2* и *4* устройства *У1* должно быть выполнено проводом диаметром не менее 2 *мм*.

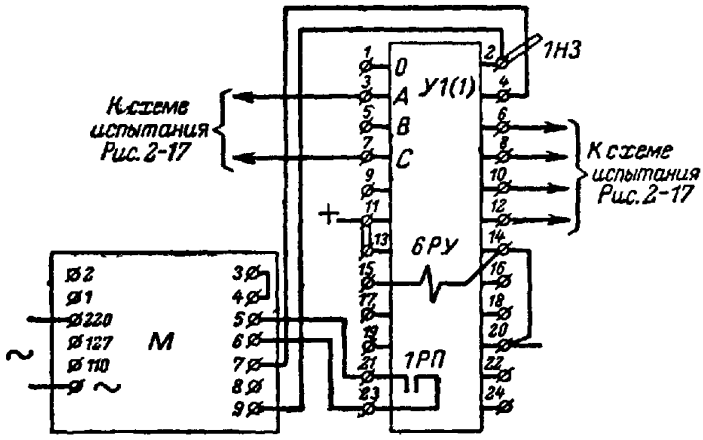


Рис. 2-19. Схема включения миллисекундомера для измерения времени действия защиты.
М — электронный миллисекундомер типа ЭМС-54.

Время действия защиты определяют для кратностей тока 2, 3, 5, 10, 20 и 30.

В начале измерений определяют ток срабатывания устройства $У1_{(1)} I_{АС\,сз(1)}$. По величине тока срабатывания и кратности тока определяют ток короткого замыкания.

Измерение производится последовательно. После подготовки миллисекундомера к измерению его пусковой ключ *К* оставляют

Таблица 2-37

Результаты измерений времени действия защиты при одностороннем питании $I_{АС\,сз\,(1)} = \ldots$

Кратность тока	2	3	5	10	20	30
$I_{АС}$, *а*						
$t_{ср}$, *мсек* . . .						
$t_{ср.средн}$, *мсек*						

Примечание. Кратность тока равна отношению $\frac{I_{АС}}{I_{сз}}$.

в вертикальном положении. Замыкают в схеме испытания рубильник *Р1* и с помощью кнопки *КН* контакты контактора. Реостатом возможно быстрее регулируют заданную величину тока, равную кратности тока срабатывания. Затем ключ $К_3$ миллисекундомера быстро переводят в горизонтальное положение и вновь в вертикальное.

Размыкают кнопку *КН*, после чего схема обесточивается контактором. Производят отсчет и запись измеренного времени.

Регулировку тока и манипуляции ключом $К_3$ и кнопкой *КН* для размыкания цепи тока необходимо производить быстро для снижения нагрева элементов фильтра тока (сопротивлений *1R1* и *1R2* и особенно первичной обмотки трансреактора), рассчитанных на кратковременную работу при больших токах.

Для каждой кратности тока короткого замыкания производят не меньше 5 измерений. Результаты измерений записывают в табл. 2-37.

2-29. ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЕЛИЧИНЫ *h*

Измерения служат для проверки тока срабатывания защиты при использовании уставок $h=1{,}5$ и 2 и производятся при $R_{пр}=600$ *ом*; $C_{пр}=0{,}45$ *мкф*. С помощью переключателя *1Н4* у устройств $УЗ_{(1)}$ и $УЗ_{(2)}$ изменяют число первичных витков трансреактора в соответствии с уставкой $h=1{,}5$ и настраивают фильтры на $k=-6$. В режиме одностороннего питания вначале со стороны устройства $УЗ_{(1)}$ и затем со стороны $УЗ_{(2)}$ определяют токи $I_{во}$ срабатывания обоих полукомплектов защиты. Измерения повторяют для настройки фильтров при уставках $h=2$, $k=-6$.

Результаты измерений записывают в табл. 2-38.

Таблица 2-38

Результаты измерений тока срабатывания защиты при уставках $h=1{,}5$ и 2

Питание со стороны устройства		$УЗ_{(1)}$			$УЗ_{(2)}$		
$h_{ном}$		1	1,5	2	1	1,5	2
$I_{сз}$, *а*	$УЗ_{(1)}$	*			*		
	$УЗ_{(2)}$	*			*		
$h^{**}_{изм}$	$УЗ_{(1)}$	1			1		
	$УЗ_{(2)}$	1			1		

* Данные табл. 2-36.

** Измеренная величина уставки фильтра $h_{изм}=\frac{I'_{сз}}{I''_{сз}}$,

где $I'_{сз}$ при $h=1{,}5$ или 2;

$I''_{сз}$ при $h=1$.

2-30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ТОКА КОНТРОЛЯ, ПРИ КОТОРОМ ПРЕКРАЩАЕТСЯ ВИБРАЦИЯ РЕЛЕ *1ПР2*

Данное испытание проводится по схеме рис. 2-17 в режиме одностороннего питания защиты со стороны устройства $УЗ_{(1)}$ при токе $I_{АС}=80$ *а*; $h=1$; $k=-6$; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$ при плавном снижении тока контроля от номинальной величины 5,5 *ма*.

Для удобства наблюдения за началом вибрации контактов реле *1ПР2* устройства $УЗ_{(1)}$ к нормально замкнутым контактам реле подключается «пробник» — омметр или другое устройство, реагирующее на кратковременное размыкание цепи.

В результате испытаний определяют минимальную величину тока контроля, при котором вибрация контактов реле *1ПР2* прекращается.

При нормальной настройке реле *1ПР2* этот ток должен быть равен 4,4 *ма*, т. е. в 1,25 раза меньше номинальной величины 5,5 *ма*. При выполнении описанного испытания цепь тока $I_{(1)}=80$ *а* следует замыкать кратковременно для предупреждения недопустимого перегрева элементов фильтра.

2-31. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТЫ В РЕЖИМЕ ДВУСТОРОННЕГО ПИТАНИЯ И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЗОНЕ ЗАЩИТЫ

Измерение проводится по схеме рис. 2-17 при раздельном питании полукомплектов защиты (переключатель *P4* разомкнут, рубильники *P1*, *P2* и *P3* включены). Имитируется короткое замыкание *В0*. У обоих полукомплектов защиты регулируются уставки $h=1$; $k=-6$. На модели линии устанавливается $R_{пр}=600$ *ом*; $C_{пр}=0{,}45$ *мкф*.

Установив токи $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$, равные 5 *а*, с помощью фазометра φ и фазорегулятора устанавливают фазовый сдвиг между токами $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$, равный 0°; при этом оба полукомплекта защиты должны действовать на отключение.

Таблица 2-39

Зависимость тока срабатывания защиты от тока во втором полукомплекте при имитации короткого замыкания в зоне $I_{(1)\,ср}=f[I_{(2)}]$

$I_{(2)}$, *а*		0	0,5	1	2	3	3,5
$I_{(1)\,сз}$, *а*	$УЗ_{(1)}$						
	$УЗ_{(2)}$						
$I_{(1)\,сз}+I_{(2)}$, *а*	$УЗ_{(1)}$						
	$УЗ_{(2)}$						

Со стороны устройства $УЗ_{(2)}$ устанавливают следующие значения тока: $I_{(2)}=0$; 0,5; 1; 2; 3 и 3,5 $а$, а со стороны устройства $УЗ_{(1)}$ для каждого значения тока $I_{(2)}$ плавным увеличением тока $I_{(1)}$ находят такую его величину, при которой срабатывает устройство $УЗ_{(1)}$ и затем $УЗ_{(2)}$. Результаты измерения записывают в табл. 2-39.

По результатам измерений строят график, аналогичный рис. 1-25.

2-32. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ В РЕЖИМЕ ДВУСТОРОННЕГО ПИТАНИЯ

Время действия защиты в режиме двустороннего питания при коротком замыкании вида $АС$ в зоне защиты в зависимости от кратности тока короткого замыкания в отношении тока срабатывания измеряется при условиях, аналогичных описанным в подразделе 2-28. В схеме рис. 2-17 рубильники $Р2$ и $Р3$ должны быть отключены, а $Р1$ и $Р4$ включены (последний в положение II); при этом, как отмечалось выше, имитируется режим двустороннего питания при коротком замыкании в зоне при условии $I_{(1)}=I_{(2)}$. Измерение начинается с определения тока срабатывания $I_{АС\ сз}$ устройства $УЗ_{(1)}$. Результаты измерений записывают в табл. 2-40.

Таблица 2-40

Результаты измерений времени действия защиты при двустороннем питании $I_{АС\ ср\ (1)}=\ldots$

Кратность тока	2	3	5	10	20	30
$I_{АС}$, $а$						
$t_{сз}$, $мсек$						
$t_{сз.\ средн}$, $мсек$						

2-33. ИСПЫТАНИЕ ЗАЩИТЫ В РЕЖИМЕ ВНЕШНИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

В режиме внешних коротких замыканий проверяют селективность защиты, которая определяется ее тормозными характеристиками. Тормозные характеристики защиты представляют собой зависимость

$$I_{(1)\,сз}=f[I_{(2)}] \text{ и } I_{(2)\,сз}=f[I_{(1)}]$$

при $\varphi=155$ и 205° (см. рис. 1-17—1-20). Характеристики снимают как для максимально допустимых для защиты значений рабочей емкости и сопротивления постоянному току линии вспомогательных проводов ($R_{пр}=1\,400$ $ом$; $C_{пр}=1$ $мкф$), так и для случая $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$. При снятии тормозных характеристик используется схема рис. 2-17. Для устройства $УЗ_{(1)}$ ток $I_{(1)}$ подводится от сети, а для устройства $УЗ_{(2)}$ — от фазорегулятора.

Если мощность фазорегулятора небольшая (2,5—3 *ква*), то можно снять характеристики для короткого замыкания *АС*. При большой мощности фазорегулятора ($\geqslant 5$ *ква*) целесообразно снять характеристики для токов короткого замыкания *В0*, что позволяет сравнить их с характеристиками рис. 1-17 — 1-20.

Установив у фильтров уставки $h=1$; $k=-4$, а на модели линии $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$ и ток контроля $I_к=5{,}5$ *ма*, устанавливают токи $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$ величиной 5 *а*. С помощью фазорегулятора устанавливают фазовый сдвиг φ между токами $I_{(1)}$ и $I_{(2)}$, равный 180°, и убеждаются, что защита не работает. Установив $\varphi=0$, убеждаются, что оба полукомплекта защиты действуют на отключение.

Если действие защиты противоположно указанному, то необходимо тщательно проверить сборку схемы испытания и найти ошибку.

Снятие тормозной характеристики начинают с определения тока срабатывания в режиме одностороннего питания, при этом определяют ток срабатывания $I_{(1)сз}$ при $I_{(2)}=0$. $I_{(1)ср}$ определяется, как и все последующие точки характеристики, плавным увеличением тока до срабатывания реле устройства $УИ_{(1)}$ и затем $УИ_{(2)}$. Установив при токах $I_{(1)}=I_{(2)}=5$ *а* угол $\varphi=155°$, снижают ток $I_{(2)}$ до 2 *а* и, плавно увеличивая ток $I_{(1)}$ до срабатывания реле устройств $УИ_{(1)}$ и $УИ_{(2)}$, находят два значения тока срабатывания. Результаты измерения записывают в табл. 2-41, из которой также виден дальнейший ход снятия характеристики.

Таблица 2-41

Тормозная характеристика $I_{(1)\,сз}=f[I_{(2)}]$ при $h=1$; $k=-4$; $\varphi=155°$; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$

$I_{(2)\,В0}$, *а*		0	2	4	5	6	7	8
$I_{В0\,сз\,(1)}$, *а*	$УИ_{(1)}$							
	$УИ_{(2)}$							

Тормозная характеристика $I_{(1)\,сз}=f[I_{(2)}]$ при $h=1$; $k=-4$; $\varphi=205°$; $R_{пр}=0$; $C_{пр}=0$

$I_{(2)\,В0}$, *а*		0	2	4	5	6	7	8
$I_{В0\,ср\,(1)}$, *а*	$УИ_{(1)}$							
	$УИ_{(2)}$							

При имитации короткого замыкания *АС* наиболее целесообразно снять тормозную характеристику для следующих значений тока $I_{(2)}=0$; 1; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 *а*. Одновременно со снятием тормоз-

ной характеристики защиты необходимо производить ее построение, что позволяет видеть ход характеристики и в случае необходимости изменять интервалы значений токов $I_{(2)}$. Наибольшее внимание при снятии характеристики следует обратить на ее часть, лежащую несколько ниже точки зажигания стабилизатора напряжения, где характеристика начинает круто подниматься вверх.

В этой области характеристики следует применять небольшие ступени изменения тока $I_{(2)}$.

После резкого загиба характеристики вверх последующее изменение ее происходит практически прямолинейно. В этой части характеристики небольшое изменение тока $I_{(2)}$ вызывает значительное изменение тока $I_{(1)}$ до значения срабатывания защиты, что затрудняет дальнейшее проведение испытаний. В связи с отмеченным дальнейшее снятие характеристики нужно ограничить небольшой ее частью, не подавая большие токи $I_{(1)}$.

При снятии тормозной характеристики необходимо постоянно контролировать и регулировать величину угла φ, который при увеличении тока $I_{(2)}$ несколько изменяется за счет падения напряжения в обмотках фазорегулятора.

Аналогично указанному снимается характеристика при $\varphi = 205°$.

Результаты измерений также записывают в табл. 2-41.

Нижняя часть тормозной характеристики представляет собой зависимость $I_{(2)\,ср} = f[I_{(1)}]$. Для снятия этой зависимости в схеме испытания устанавливают последовательно несколько значений тока $I_{(1)}$ и для каждого из них определяют ток $I_{(2)\,ср}$ срабатывания полукомплектов (1) и (2). Результаты измерений записывают в табл. 2-42 и 2-43.

Таблица 2-42

Тормозная характеристика $I_{(2)\,сз} = f[I_{(1)}]$ при $h = 1$; $k = -4$; $\varphi = 155°$; $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$

$I_{(1)\,ВО}$, a		0	2	4	5	6	7	8
$I_{ВО\,ср\,(2)}$, a	$УI_{(1)}$							
	$УI_{(2)}$							

Таблица 2-43

Тормозная характеристика $I_{(2)\,сз} = f[I_{(1)}]$ при $h = 1$; $k = -4$; $\varphi = 205°$; $R_{пр} = 0$; $C_{пр} = 0$

$I_{(1)\,ВО}$, a		0	2	4	5	6	7	8
$I_{ВО\,сз\,(2)}$, a	$УI_{(1)}$							
	$УI_{(2)}$							

Нижние и верхние ветви тормозных характеристик для углов соответственно 205 и 155° расположены симметрично относительно оси равных токов, если полукомплекты защиты идентичны.

Минимально необходимое число тормозных характеристик для полной проверки селективности защиты при различных уставках защиты и параметрах модели линии указано в программе (см. п. 2-24,Г).

2-34. ПРОВЕРКА ПОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТЫ ПРИ ОДНОКРАТНЫХ ОБРЫВАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

Целью испытания является проверка быстродействия реле контроля *1ПР2* при возврате и согласованность этого времени с временем срабатывания реле *1ПР1* при обрыве вспомогательных проводов.

У фильтров тока регулируются уставки $h=1$ и $k=-4$, а на модели линии $R_{пр}=0$ и $C_{пр}=0$. На входе устройства *У2* устанавливается номинальное напряжение переменного тока 100 *в*, а в цепи вспомогательных проводов номинальный ток контроля 5,5 *ма*. У выходного реле *1РП* устанавливается минимальное время срабатывания. К защите подается номинальное напряжение постоянного тока.

Испытание защиты производится по схеме рис. 2-17, в которой нормальный режим передачи мощности по линии электропередачи имитируется подачей тока фазы В0 на зажимы *1* и $5_{(0в)}$ устройств $У1_{(1)}$ и $У1_{(2)}$ и включением рубильников *Р1* и *Р4* в положение *II* (внешнее короткое замыкание), ток $I_{(1)}$ устанавливается равным 5 *а**. При выбранных уставках фильтров на входных зажимах устройств $У1_{(В0)}$) э. д. с. фильтра будет максимальной сравнительно с другими возможными уставками фильтров для нормального режима при подведении к защите трехфазного симметричного тока 5 *а*. В связи с этим при обрыве вспомогательных проводов на обмотке напряжения дифференциального реле *1ПР1* будет возникать максимальное напряжение, а реле будет действовать с наименьшим временем. В этом случае возможно замыкание контактов реле *1ПР1* в цепи обмотки напряжения реле *1РП* до размыкания ее контактами реле *1ПР2* при обрыве вспомогательных проводов.

Размыкая линию вспомогательных проводов на зажиме *5* трансформатора *3ТИ*, наблюдают за поведением реле *1ПР1*, *1ПР2* и *1РП* обоих полукомплектов защиты. Опыт повторяется многократно (20—30 раз), при этом реле *1ПР1* обоих устройств *У1* должны срабатывать, реле *1ПР2* должны возвращаться, а реле *1РП* не должно действовать.

Реле *1РП* не будет действовать, если его цепь не замыкается или при замыкании ее на реле подается импульс постоянного тока, более короткий, чем необходимо для срабатывания.

Для количественной оценки надежности блокировки защиты при обрыве вспомогательных проводов целесообразно измерить

---

* В режиме одностороннего питания линии защита срабатывает как при $I^{(3)}=4$ *а*, так и $I_{В0}=4$ *а*, т. е. в обоих случаях э. д. с. на выходе фильтров одинаковы; поэтому режим нормальной нагрузки линии можно заменить более простым по осуществлению режимом внешнего короткого замыкания $I_{В0}=5$ *а*.

время замкнутого состояния контактов реле *1ПР1* и *1ПР2* в цепи выходного реле при обрывах вспомогательных проводов. Измерение производится по схеме рис. 2-17 с помощью миллисекундомера, включенного по схеме рис. 2-20. В этой схеме обрыв линии вспомогательных проводов со стороны комплекта $1К_{(1)}$ производится ключом $К_3$ миллисекундомера. Как и в предыдущем испытании, устанавливается ток $I_{(1)}=5$ *а*. Замыкающие контакты реле *1ПР1*,

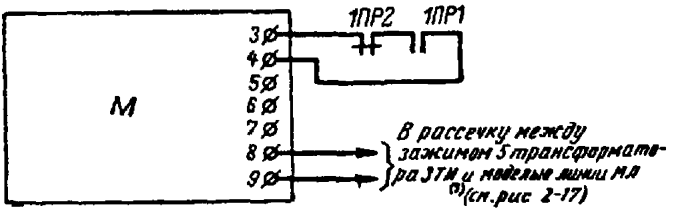


Рис. 2-20. Схема включения миллисекундомера для измерения времени замкнутого состояния контактов реле 1ПР1 и 1ПР2 при обрыве вспомогательных проводов.
М — миллисекундомер типа ЭМС-54.

соединенные последовательно с размыкающими контактами *1ПР1*, подключаются к зажимам *3* и *4* миллисекундомера, при этом контакты реле должны быть отключены от остальной части устройства $У1_{(1)}$, на который подано напряжение постоянного тока для питания тормозной цепи реле *1ПР2*. Измерение повторяется 15—20 раз. Максимальное время замкнутого состояния контактов реле *1ПР1* и *1ПР2* не должно превышать 2,5 *мсек*.

2-35. ПРОВЕРКА ПОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТЫ ПРИ МНОГОКРАТНЫХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ОБРЫВАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

Условия испытания защиты отличаются от испытаний, описанных в подразделе 2-34, только характером обрыва вспомогательных проводов.

В первом испытании после обрыва вспомогательных проводов цепь контроля четко размыкалась. При многократных и очень кратковременных обрывах проводов с последующим их кратковременным замыканием контакты реле *1ПР1* и *1ПР2* находятся в непрерывном движении, в результате чего может последовать замыкание цепи выходного реле на более длительный промежуток времени, чем в предыдущем испытании.

Испытание защиты производится с выходным реле, уставка времени срабатывания которого равна 50 *мсек*. При многократной имитации кратковременных обрывов и замыканий проводов в начале линии у устройства $У1_{(1)}$ производится наблюдение за действием выходного реле устройства $У1_{(1)}$. Якорь выходного реле не должен при этом вздрагивать или срабатывать.

2-36. ПРОВЕРКА ПОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТЫ И РЕЛЕ *1ПР2* ПРИ ЗАМЫКАНИИ МЕЖДУ ПРОВОДАМИ

Схема испытания, уставки фильтров и модели линии остаются такими же, какие были приняты для подраздела 2-34. Время действия реле *1РП* регулируется минимальным. Замыкая накоротко

вторичные зажимы *5* и *6* изолирующего трансформатора *3ТИ* (около устройства $У1_{(1)}$) и размыкая их, наблюдают за поведением реле *1ПР1* и *1РП* устройства $У1_{(1)}$ и реле *1ПР2* устройства $У1_{(2)}$. При токе контроля 5,5 *ма* реле *1ПР1*, а следовательно, и реле *1РП* в указанных условиях не должны вздрагивать и срабатывать, а реле *1ПР2* на приемном конце вспомогательных проводов при замыкании их со стороны питания должно возвращаться и действовать на сигнал.

Причиной срабатывания реле *1ПР1* в данных испытаниях могут быть значительные импульсы постоянного тока, возникающие и исчезающие во вторичной обмотке трансформатора *3ТИ*.

Возврат реле *1ПР2* проверяется также при замыкании между проводами через переходное сопротивление в начале и конце линии, при этом определяется максимальная величина переходного сопротивления, при котором реле *1ПР2* начинает возвращаться.

2-37. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВОЗВРАТА РЕЛЕ *1ПР2* ПРИ СНЯТИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

После отключения переменного напряжения от зажимов *5* и *7* устройства *У2* конденсатор *2С2*, разряжаясь, поддерживает некоторое время ток во вспомогательных проводах, достаточный для удерживания реле *1ПР2* в сработавшем состоянии. Время возврата

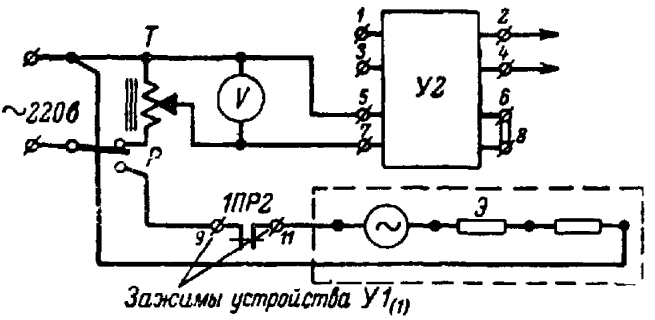


Рис. 2-21. Схема для измерения времени возврата реле 1ПР2 при отключении напряжения питания от устройства 2;
Т — автотрансформатор лабораторный; *Э* — электросекундомер; *Р* — переключатель.

реле зависит при этом от активного сопротивления вспомогательных проводов.

В схеме рис. 2-17 накладка *1Н6* должна быть разомкнута, а плюс постоянного тока должен быть подан на зажим *13* устройства *У1*. На модели линии устанавливаются $R_{пр}=1\,400$ *ом* и $C_{пр}=1$ *мкф*, напряжение на входе устройства *У2*, равное 100 *в*, и ток контроля 5,5 *ма*. Время возврата реле *1ПР2* после отключения напряжения переменного тока измеряется электросекундомером (рис. 2-21). Это время составляет около 3 *сек*.

Второе измерение производится при $R_{пр}=0$, $C_{пр}=0$ после регулировки тока контроля до номинальной величины 5,5 *ма*. В этом случае время возврата реле *1ПР2* должно составлять около 1 *сек*.

Если время возврата реле *1ПР2* окажется существенно меньше указанных величин, то причиной может являться недостаточная емкость конденсаторов *2С2* (меньше номинальной).

2-38. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЗАЩИТОЙ В ЦЕПЯХ ТОКА

Измерение производится по схеме рис. 2-17, в которой к зажимам *3*, *5* и *7* устройства $УI_{(1)}$ подается симметричный трехфазный ток прямой последовательности 5 *а*. У фильтра тока устройства $УI_{(1)}$ регулируются уставки $h=1$ и $k=-4$, при которых защита имеет максимальное потребление.

С помощью вольтметра измеряются напряжения на вводных зажимах устройства $УI_{(1)}$: U_{A0}, U_{B0}, U_{C0}, U_{AB}, U_{AC} и U_{CB}. Результаты измерения записываются в табл. 2-44.

Таблица 2-44

Результаты измерений напряжения и мощности, потребляемой в цепях тока защиты при симметричном трехфазном токе 5 *а*

Напряжение, *в*	U_{AO}	U_{BO}	U_{CO}	U_{AB}	U_{AC}	U_{CB}
Мощность,** *ва* . . .	P_B	P_B	P_C	P_A^*	—	P_C^*

* При питании защиты от двух трансформаторов тока, включенных в фазы *А* и *С*.

** Мощность, потребляемая в отдельных фазах защиты, определяется как произведение измеренных напряжений на ток 5 *а*.

Глава третья

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРОВЕРКА И НАЛАДКА ЗАЩИТЫ ПРИ ПЕРВОМ ВКЛЮЧЕНИИ

3-1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В настоящем разделе предусмотрены наладочные испытания защиты типа ДЗЛ-1 после окончания всех монтажных работ, перед вводом ее в эксплуатацию.

Защиты, поступающие с завода в энергосистемы, не нуждаются в проведении проверок, регулировок, наладок и снятия характеристик в полном объеме, предусмотренном типовыми испытаниями этой защиты на заводе или в энергосистеме. Это обусловлено тем, что каждое реле, вспомогательное устройство, а также защита в целом проходят калибровку, проверку и наладку на заводе.

Учитывается также, что защита состоит из двух полукомплектов, монтируемых на различных подстанциях, и поэтому проведение

полных испытаний защиты, устанавливаемой в эксплуатации, представляется весьма затруднительным.

Первая эксплуатационная проверка и наладка защиты состоят в основном из операций, имеющих целью количественную и качественную проверку отдельных органов, узлов и полукомплектов защиты, а также всей защиты в целом, совместно со вспомогательными проводами.

В процессе этой проверки выявляются и устраняются дефекты монтажа и регулировки отдельных элементов защиты, вызванные заводскими ошибками, транспортировкой и ошибками при монтаже, задаются уставки защиты и выполняется ряд работ, не предусмотренных программой типовых испытаний, как-то: проверка защиты рабочим током нагрузки и т. п.

3-2. ПРОГРАММА И ОБЪЕМ ПРОВЕРКИ

Проверка и наладка защиты проводится по следующей программе:

1. Проверка трансформаторов тока, токовых цепей и цепей напряжения защиты.
2. Проверка отключающих катушек выключателей, блок-контактов выключателей и цепей постоянного тока защиты.
3. Внешний осмотр реле, вспомогательных устройств (*ВУ*), проверка монтажа, механической части реле, аппаратов защиты, контроля и вспомогательных проводов.
4. Проверка сопротивления и испытание изоляции реле, вспомогательных устройств и всех соединений защиты.
5. Измерение сопротивления и емкости вспомогательных проводов защиты.
6. Регулировка и проверка реле и вспомогательных устройств.
7. Регулировка уставок и проверка фильтра тока.
8. Проверка и наладка устройства автоматического контроля вспомогательных проводов защиты.
9. Снятие характеристики сопротивления срабатывания и тормозной характеристики защиты.
10. Проверка взаимодействия реле в полной схеме защиты.
11. Проверка защиты рабочим током.

Все работы, проводимые по данной программе, оформляются паспортом-протоколом (см. приложение П-2).

3-3. ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА, ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ, ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ЗАЩИТЫ

Проверка трансформаторов тока, токовых цепей, цепей напряжения, отключающих катушек выключателей и их блок-контактов, а также всех внешних цепей постоянного тока производится по соответствующим типовым инструкциям, принятым в энергосистеме, и в настоящих руководящих указаниях не рассматриваются.

Паспортные и номинальные данные защиты заносятся в табл. П-2-1, а результаты проверки и испытания внешних цепей защиты — в табл. П-2-2 протокола.

3-4. ВНЕШНИЙ ОСМОТР, ПРОВЕРКА МОНТАЖА, МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РЕЛЕ, АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И КОНТРОЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ

1. До проверки следует вынуть рабочие штепсели испытательных блоков *12ИБ—17ИБ*, смонтированных на панели защиты, разомкнуть накладки *9Н*, *10Н* и *11Н* и отсоединить концы, идущие к отключающим катушкам. При этом цепи защиты отключаются от источников питания постоянного и переменного тока, закорачиваются цепи трансформаторов тока и отсоединяются цепи отключающих катушек.

2. Проверку начинают с внешнего осмотра всех элементов полукомплекта защиты. Удаляют пыль с кожухов реле и вспомогательных устройств и проверяют состояние уплотнения, наличие пломб, целость стекол, плотность их прилегания к кожуху.

После поочередного снятия кожухов удаляют временные прокладки и другие крепления в поляризованных и в выходном реле.

При осмотре следует проверить отсутствие механических повреждений реле, *ВУ* и соединительных проводов, отсутствие коррозии, металлических опилок внутри кожухов, исправность изоляции токоведущих частей, расстояния между неизолированными токоведущими частями, затяжку болтов и гаек, надежность мест пайки проводов и креплений аппаратов. Проверяют качество разделки подводящих кабелей и надежность контактных соединений в шпильках реле, *ВУ* и в сборке зажимов.

3. Сверяют монтажную схему с принципиальной схемой защиты (см. рис. 1-1). Проверяют наличие и правильность маркировки сборки зажимов, жил кабелей, всех реле и ВУ с лицевой и обратной сторон панели. При необходимости вносят соответствующие изменения в монтаж, монтажную и исполнительную схемы защиты.

Результаты всех проверок заносят в табл. П-2-3 протокола.

4. Проверка механической части реле и аппаратов включает осмотр подвижных и неподвижных деталей, проверку отсутствия металлических опилок и пыли в воздушных зазорах, исправности упоров пружин и осей, отсутствия прилипаний и заеданий подвижных частей, чистоты контактов, величины контактных зазоров и надежность замыкания и размыкания контактов.

Расстояние между контактами в поляризованных реле должно быть в пределах 0,4—0,5 *мм*. Грязные и подгоревшие контакты реле должны зачищаться бархатным надфилем и полироваться воронилом. Чистка контактов другими предметами, а также промывка их не разрешаются.

Чистоту зазора магнитной цепи поляризованных реле проверяют при помощи мегомметра 500 *в*, включаемого между контактной системой реле и корпусом при различных положениях якоря. Если при проверке будет обнаружена неисправность электрической цепи, то следует разобрать реле и произвести чистку зазора магнитной цепи в соответствии с подразделом 3-8.

5. При проверке указательных реле обращают внимание на ход подвижных систем, четкость выпадения указательных флажков и надежность замыкания контактов.

Результаты проверки заносят в табл. П-2-4 протокола.

3-5. ПРОВЕРКА СОПРОТИВЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ РЕЛЕ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ВСЕХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАЩИТЫ

1. После осмотра всех элементов защиты и механической проверки реле измеряют сопротивление изоляции мегомметром 1 000 *в* * и испытывают изоляцию по отношению к сердечникам и цоколю реле переменным напряжением 1 000 *в* в течение 1 *мин*. Сопротивление изоляции цепей напряжения, цепей тока и цепей постоянного тока должно быть не ниже 50 *Мом*.

Изоляцию испытывают между всеми зажимами одновременно и цоколем реле переменным напряжением 1 000 *в*.

2. При проверке следует помнить о наличии в защите германиевых выпрямителей и конденсаторов и не допускать повышенного напряжения на этих элементах. При проверке необходимо отсоединить заземление от зажима *9*.

3. Проверку и испытание изоляции подводящих кабелей и вспомогательных проводов защиты проводят, предварительно отсоединив их от защиты. Изоляцию испытывают переменным напряжением 1 000 *в*. Она должна удовлетворять соответствующим нормам.

Результаты всех проверок заносят в табл. П-2-5 протокола.

3-6. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЕМКОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ ЗАЩИТЫ

1. Перед испытанием вспомогательные провода защиты на противоположном конце линии закорачиваются. Измерение сопротивления петли вспомогательных проводов проводится по схеме табл. П-2-6 методом вольтметра-амперметра на постоянном токе при питании от аккумуляторной батареи. Сопротивление проводов не должно превышать 1 400 *ом*. Результаты измерений заносят в табл. П-2-6 протокола.

2. Емкость проводов с достаточной для практических целей точностью измеряют по схеме табл. П-2-7. Предварительно сняв закоротку на противоположном конце линии, подают напряжение 220 *в* через миллиамперметр на вспомогательные провода. Вольтметром с высоким сопротивлением (например, ламповым) измеряют напряжение на проводах. Емкость подсчитывают по формуле

$$C = \frac{I \cdot 10^6}{314 \cdot U} \quad мкф.$$

Емкость вспомогательных проводов не должна превышать 1 *мкф*. Результаты измерений заносят в табл. П-2-7 протокола.

3-7. ПРОВЕРКА И НАСТРОЙКА РЕЛЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Поляризованные, выходное и указательные реле защиты калибруют на заводе. При нарушении калибровки, например при транспортировке, реле регулируют в соответствии со следующими указаниями.

---

* Допускается проверка мегомметром 2 500 *в*.

1. **Дифференциальное поляризованное реле *1ПР1***. Ток срабатывания реле должен быть равен 2,4—2,5 *ма*; ток возврата 1,0—1,25 *ма*; давление на контактах при токе, в 2 раза превышающем ток срабатывания, должно быть не менее 5 *г*; расстояние между контактами должно быть порядка 0,4—0,5 *мм*.

Проверка тока срабатывания реле *1ПР1* производится в схеме при разомкнутых накладках *1Н1* и *1Н2*. От постороннего источника постоянного тока через двойной потенциометр и миллиамперметр ток подается непосредственно в рабочую обмотку реле (см. схему табл. П-2-8). Результаты испытания заносят в табл. П-2-8 протокола.

В случаях, когда токи срабатывания и возврата и зазор между контактами отклоняются от указанных выше номинальных величин не более чем на 5%, никакой регулировки реле не требуется. При более значительных отклонениях производят регулировку реле. В протокол заносят параметры реле, полученные после регулировки.

2. **Поляризованное реле контроля *1ПР2***. Ток срабатывания реле при разомкнутых тормозной и компенсационной обмотках должен составлять $I_{ср}=2{,}4$ *ма*, а ток возврата $I_{в}\geqslant 1{,}2$ *ма*; расстояние между контактами должно быть 0,4—0,5 *мм*.

Токи срабатывания и возврата реле *1РП2* проверяются в полной схеме защиты при разомкнутой накладке *1Н1* и отключенном оперативном постоянном токе (см. схему табл. П-2-9). Вместо вспомогательных проводов защиты включают реостат с сопротивлением порядка 1 000 *ом* и последовательно с ним миллиамперметр. Плавно изменяя сопротивление *2R5* в устройстве контроля, проверяют токи срабатывания и возврата реле (изменяя ток в его рабочей обмотке).

Результаты испытаний заносят в табл. П-2-9 протокола.

Миллиамперметром с малым потреблением (сопротивление порядка 10—20 *ом*) измеряют величину постоянного тока $I_{торм}$ в тормозной обмотке реле *1ПР2*, определяемую сопротивлением *1R8* и напряжением оперативного тока. Ток $I_{торм}$ должен быть равен 22—24 *ма*. При наличии тормозного тока измеряют ток срабатывания и возврата реле *1ПР2* по схеме табл. П-2-9, при этом ток срабатывания реле *1ПР2* должен быть равен примерно 4,1 *ма*, а ток возврата — не менее 2,7 *ма*.

Результаты испытаний заносят в ту же таблицу.

3. **Поляризованное реле контроля изоляции *2ПР1***. Ток срабатывания реле *2ПР4* должен составлять 0,8 *ма*, а ток возврата 0,2—0,5 *ма*.

Заданные величины тока срабатывания и возврата проверяются в полной схеме защиты (см. схему табл. П-2-10). В устройстве контроля размыкают накладку *2Н1*, и на ее зажимы *8* и *6* включают магазин сопротивлений на 30 *ком* и последовательно соединенный с ним миллиамперметр на 1,5 *ма*; зажим *4* заземляется.

Изменяя сопротивление магазина, проверяют и в случае необходимости регулируют ток срабатывания и возврата реле *2ПР1*. Результаты испытаний заносят в табл. П-2-10 протокола.

4. **Промежуточное реле *1РП***. Схему включения реле выбирают в зависимости от того, имеются ли на линии разрядники, и проверяют напряжение срабатывания и возврата реле *1РП*.

Результаты испытаний заносят в табл. П-2-11 протокола.

5. Токовое реле *8РТ*. Проверяют ток срабатывания и возврата реле при заданной уставке.

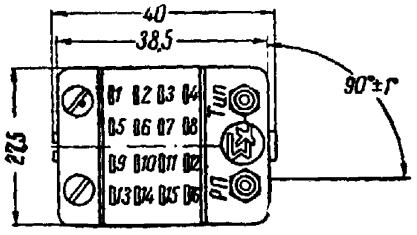
Проверяют надежность работы и отсутствие вибрации контактов реле при значениях тока во всем диапазоне от 1,05 тока срабатывания до максимально возможного тока нулевой последовательности при повреждениях на линии. Проверку производят при включенном постоянном токе, а работу контактов контролируют по действию выходного реле. Переменный ток подают к зажимам фазы В0 защиты. Коэффициент возврата реле должен быть порядка 0,85. Результаты проверки заносят в табл. П-2-12.

6. Проверяют ток срабатывания или напряжение срабатывания указательных реле *4РУ—7РУ*. Результаты заносят в табл. П-2-13.

3-8. РЕГУЛИРОВКА ПОЛЯРИЗОВАННЫХ РЕЛЕ

Общий вид и конструкция реле показаны на рис. 3-1. Реле *1ПР1* имеет постоянный магнит *1* и две обмотки — рабочую и тормозную, расположенные на общей катушке *2*. Катушка насажена на подковообразный сердечник *3*, между полюсными наконечниками *4* которых имеется якорь *5*, прикрепленный на плоской пружине к рамке *6*. На якоре закреплены подвижные контакты *7*, а на керамическом мостике *8* размещены два неподвижных контакта *10*, регулируемых с помощью винтов *9*.

Подвод тока к подвижным контактам осуществляется через рамку и пружину, а к неподвижным — непосредственно через колодку реле.



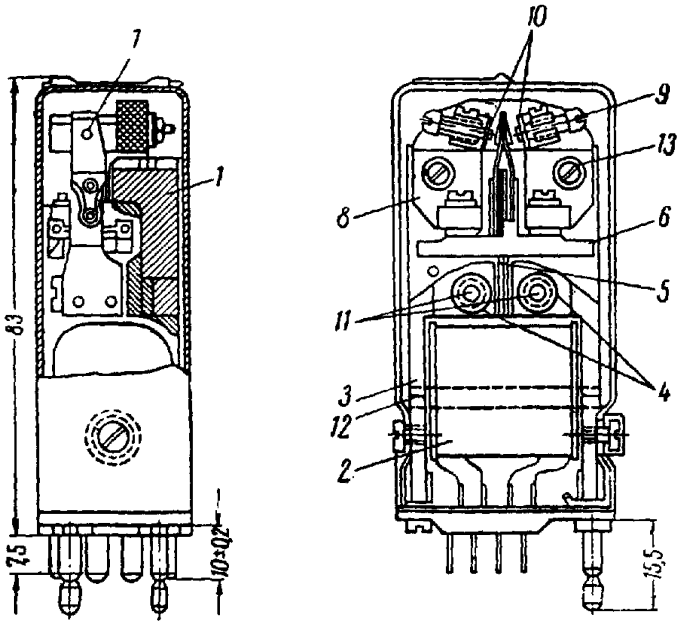


Рис. 3-1. Общий вид реле РП-7.

Полюса *4* сердечника *3* имеют отверстия для винтов *11*, крепящих сердечник к корпусу реле.

При отсутствии тока в обмотках реле якорь *5* притянут постоянным магнитом к правому полюсу *4*. Левый контакт реле *10* при этом замкнут, а правый разомкнут. Прохождение тока через обе обмотки реле вызывает появление магнитных потоков противоположных направлений. Магнитный поток рабочей обмотки действует в сторону срабатывания реле, т. е. в сторону замыкания правого контакта, а поток тормозной — в сторону замыкания левого контакта.

Наиболее просто в небольших пределах токи срабатывания и возврата реле могут быть отрегулированы поворотом винтов *9* неподвижных контактов. Так, для увеличения тока срабатывания реле винт *9* левого контакта отвинчивают, а для уменьшения — завинчивают.

Для увеличения тока возврата реле винт правого контакта завинчивают, а для уменьшения — отвинчивают.

В тех случаях, когда указанная регулировка не дает желаемых результатов, необходимо произвести более сложную регулировку, состоящую из ряда последовательных операций:

1. Отвинтить и снять винты *11* и клинья *12*, крепящие сердечник к корпусу реле, и отвинтить винты *9* неподвижных контактов.
2. Осторожно приподнять сердечник *3* и катушку реле *2*, освободив при этом якорь *5*.
3. Ослабить затяжку винтов *13*, крепящих керамический мостик *8* к корпусу реле.
4. Установить мостик *8* в такое положение, чтобы якорь *5* занял нейтральное положение, которое отмечается карандашом на керамике мостика.
5. Закрепить мостик, затянув винты *13*.
6. Винты неподвижных контактов *9* отрегулировать так, чтобы неподвижные контакты приблизились с обеих сторон к якорю и зажали его в среднем положении.
7. Установить катушку *2* и сердечник реле *3* на свое место, закрепив сердечник клиньями *12* и винтами *11* так, чтобы общий зазор между полюсными наконечниками сердечника (с учетом толщины якоря) был равен 2,5—3,3 *мм*. При этом правый полюс *4* должен на 0,2—0,3 *мм* отстоять от якоря реле.
8. Отвинчивая левый и правый винты *9*, настроить реле на заданные параметры срабатывания и возврата.

3-9. РЕГУЛИРОВКА УСТАВОК ЗАЩИТЫ И ПРОВЕРКА ФИЛЬТРА ТОКА

Для регулировки уставок фильтра тока необходимо рассчитать:

1) уставку тока срабатывания защиты по обратной последовательности $I_{2сз}$;

2) уставку тока срабатывания защиты по прямой последовательности $I_{1сз}$ или коэффициент k, характеризующий отношение

$$\frac{I_{1сз}}{I_{2сз}};$$

3) максимальный вторичный ток $I^{(3)}_{макс}$, протекающий через защиту при трехфазном коротком замыкании.

Методика расчета уставок приведена в приложении П-3.

При регулировке уставок следует учитывать, что минимальные токи срабатывания защиты $I_{2\,сз\,мин}=1$ *а* и $I_{1\,сз\,мин}=4$ *а* могут быть приняты для защиты, у которой максимальный вторичный ток $I^{(3)}_{макс}$ не превосходит 100 *а*. Для максимальных вторичных токов 100—150 и 150—200 *а* минимальные уставки тока срабатывания соответственно увеличиваются до 1,5 и 2 *а* для тока обратной последовательности, 6 и 8 *а* соответственно для тока прямой последовательности.

Регулировку уставки *h* тока срабатывания производят изменением числа витков трансреактора с помощью накладки *1Н4* на передней панели полукомплекта защиты, в соответствии с п. 1-3,б; данные заносят в табл. П-2-14 протокола.

Регулировка коэффициента *k* для данной уставки *h* осуществляется изменением положения движков сопротивлений *1R1* и *1R4*, включенных в цепь тока фаз *А* и *С*.

Расчет величины сопротивления реостатов фильтра и метод проверки их приведен в п. 2-2 и 3. Окончательная проверка токов срабатывания производится подачей на защиту трех симметричных токов, при этом ток срабатывания защиты при подаче системы токов обратной последовательности и обрыве цепи вспомогательных проводов должен быть равным примерно половине уставки *h*. При подаче трех строго симметричных токов прямой последовательности ток срабатывания защиты должен быть численно равным половине произведения уставок, т. е. $I_{1\,сз}=\frac{h\cdot k}{2}n_т$. Для контроля проверяют также ток срабатывания в фазе *В0* и в фазах *АС*.

Величины токов срабатывания и уставки защиты заносят в табл. П-2-14 протокола.

Одновременно с проверкой тока срабатывания прямой последовательности измеряют потребление мощности в цепях тока на фазу. При симметричном трехфазном токе, равном 5 *а*, вольтметром с высоким сопротивлением поочередно измеряют падение напряжения между входными зажимами *3*, *5*, *7* и *1* устройства *У1*. Результаты измерений заносят в табл. П-2-15 протокола.

3-10. ПРОВЕРКА И НАЛАДКА УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ ЗАЩИТЫ

Защита снабжена двумя видами контроля вспомогательных проводов:

1. Автоматическим контролем исправности цепи вспомогательных проводов.

2. Автоматическим и периодическим контролем изоляции вспомогательных проводов.

При новом включении проверяют все основные элементы схемы контроля. Измеряют сопротивление рабочих обмоток реле *1ПР2* и *2ПР1*, которые соответственно должны составлять около 600 и 8 000 *ом*. Проверку градуировки шкалы гальванометра производят в соответствии с подразделом 2-20.

После проверки элементов контроля в полностью собранной схеме защиты устанавливают ток контроля, равный 5,5 *ма*.

Величину тока регулируют сопротивлением *2R5* и контролируют по миллиамперметру *2Г* при нажатой кнопке *2К2*. Напряжение на конденсаторе *2С2* после регулировки тока не должно превышать

15 *в*. Измеряют ток в тормозной обмотке реле *1ПР2*. Величина тока должна быть в пределах 22—24 *ма*. Потоки рабочей и тормозной обмоток направлены встречно. Реле *1ПР2* при включении рабочей и тормозной обмоток должно надежно замыкать свой замыкающий контакт в выходных цепях защиты. После снятия переменного напряжения с трансформатора *2ТН* контакты реле *1ПР2* должны оставаться замкнутыми, по крайней мере, не менее чем в течение 1 *сек*. При обрыве цепи вспомогательных проводов. контакты реле должны быстро и надежно размыкаться и блокировать выходные цепи защиты.

При полностью собранной схеме контроля проверяют величину максимального сопротивления замыкания на землю, при котором срабатывает реле контроля *2ПР1*.

Указанную проверку осуществляют путем подбора сопротивления на магазине сопротивлений, включаемом поочередно между каждым из вспомогательных проводов защиты и заземлением. Это сопротивление должно быть не менее 20 *ком* (см. подраздел 2-19).

Результаты проверки устройства контроля заносят в табл. П-2-16 протокола.

3-11. ПРОВЕРКА СЕЛЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ И ИДЕНТИЧНОСТИ ОБОИХ ПОЛУКОМПЛЕКТОВ

Идентичность обоих полукомплектов защиты проверяют по ее тормозным характеристикам и по характеристикам зависимости сопротивления срабатывания от тока в первичной цепи для каждого полукомплекта защиты.

При этом тормозные характеристики снимаются только при новом включении защиты, а характеристики сопротивления срабатывания как при новом включении, так и при плановых проверках защиты. Неизменность характеристик сопротивления указывает на исправность защиты. Как правило, первый раз указанные характеристики должны сниматься в лаборатории, куда доставляются оба полукомплекта.

Проверку начинают со снятия характеристики сопротивления срабатывания, отдельно для каждого полукомплекта защиты. Вместо вспомогательных проводов на выход изолирующего трансформатора включают магазин регулируемых активных сопротивлений. Характеристики снимают током в фазе *В0* (зажимы *5* и *1* для выбранных уставок k и h, так как в этой фазе характеристики практически не зависят от уставок k и могут быть легко пересчитаны и построены для различных уставок h в масштабах 1; 1,5 или 2.

Проверка ведется в полной схеме полукомплекта защиты. Ток контроля равен нулю (*16ИБ* отключен).

Методика снятия характеристики приведена в подразделе 2-23. Схема проверки дана в табл. П-2-17.

Результаты испытаний заносят в табл. П-2-17 протокола; при эксплуатационных проверках защиты они используются в качестве эталона.

Полукомплекты следует считать идентичными, если сопротивления срабатывания при токах более 10 *а* у обоих полукомплектов отличаются между собой не более чем на 5%. В противном случае необходимо проверить все элементы защиты, найти неисправность и устранить ее.

Тормозные характеристики защиты служат критерием селективности ее действия при внешних коротких замыканиях и должны сниматься для заданных уставок защиты, номинального тока контроля 5,5 *ма* и средних величин сопротивления и емкости соединительных проводов, равных соответственно 600 *ом* и 0,45 *мкф*.

Методика снятия тормозных характеристик и схема проверки приведены в подразделе 2-33.

Результаты испытаний заносят в табл. П-2-18 протокола. Характеристики вычерчиваются на графике таблицы и служат для сравнения с типовой характеристикой защиты *ДЗЛ-1*.

Тормозные характеристики защиты считаются удовлетворительными, если отличаются от типовой тормозной характеристики не более чем на 10% в сторону снижения селективности действия защиты.

3-12. ПРОВЕРКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЕ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЛНОЙ СХЕМЕ ЗАЩИТЫ

Проверку взаимодействия производят при напряжении постоянного тока, пониженном на 20% от номинального, т. е. при $U=88$ *в*, если $U_{ном}=110$ *в*, и 176 *в*, если $U_{ном}=220$ *в*.

Ток контроля устанавливается равным 5,5 *ма*.

1. Проверяют соответствие работы схемы защиты принципиальной схеме, отсутствие обходных цепей, правильность последовательности работы поляризованных, промежуточных и указательных реле. Так, при замыкании контактов реле *1ПР1* от руки должно сработать реле *1РП*. Если при этом оборвать один из вспомогательных проводов защиты, то реле *1РП* должно возвратиться в исходное положение, а указательное реле *6РУ* должно сработать и дать сигнал об обрыве проводов. Если оба контакта реле *8РТ* установить в среднее положение так, чтобы ни один из них не был замкнут, то замыкание контакта реле *1ПР1* не приведет к срабатыванию выходного реле. При замыкании контакта реле *2ПР1* срабатывает реле *7РУ* и сигнализирует о заземлении в цепи вспомогательных проводов защиты. При снятии накладки *2Н1* и заземлении одного из вспомогательных проводов реле *2ПР1* не срабатывает и флажок указательного реле *7РУ* не выпадает.

При замкнутой накладке *16Н* замыкание контактов реле *1ПР1* приводит к срабатыванию реле *1РП* даже при обрыве цепи вспомогательных проводов, так как контакт реле контроля *1ПР2* при этом зашунтирован накладкой *11Н*. В конце проверки взаимодействия проводится опробование действия защиты на отключение выключателя и на запуск *АПВ*.

2. Проверяют поведение защиты при замыканиях вспомогательных проводов, а также при их обрыве.

При замыкании вспомогательных проводов разделительный конденсатор *3С1* разряжается через вторичную обмотку изолирующего трансформатора *3ТИ*, вызывая кратковременное резкое увеличение тока в ней.

Уменьшение сопротивления цепи контроля, обусловленное коротким замыканием вспомогательных проводов, вызывает также быстрое нарастание тока в обмотке *3ТИ*. При указанной проверке поляризованное реле *1ПР1* не должно срабатывать как при однократных замыканиях, так и при многократных прерывистых замыкани-

ях вспомогательных проводов при полностью собранной схеме защиты и контроля.

Проверяется надежность работы реле контроля *1ПР2*, т. е. быстрая блокировка защиты как при однократном, так и при многократном прерывистом обрыве цепи вспомогательных проводов в полностью собранной схеме защиты и контроля.

Если ток нагрузки линии при проверке меньше $3a$, то для ускорения действия реле *1ПР1* имитируется двухфазное короткое замыкание на землю фаз *А* и *С*. При этом на защитах обоих концов линии фаза *В* соединяется с нулевым проводом на испытательном блоке *12ИБ* и отсоединяется от панели.

Как однократные обрывы вспомогательных проводов, так и многократные прерывистые обрывы не должны приводить к срабатыванию или даже вздрагиванию выходного реле защиты *1РП*.

Результаты проверки заносят в табл. П-2-19 протокола.

3-13. ПРОВЕРКА ЗАЩИТЫ ТОКОМ НАГРУЗКИ ЛИНИИ

При новом включении защиты *ДЗЛ-1* проверку ее рабочим током нагрузки проводят одновременно на обоих концах защищаемой линии.

Перед проверкой полностью восстанавливают все цепи защиты, за исключением цепей отключения. Переключательные устройства *9Н* и *10Н* остаются в положении «на сигнал».

Проверяются правильность подвода и фазировка токовых цепей от трансформаторов тока до зажимов защиты; правильность подвода цепей напряжения до зажимов устройства контроля; правильность включения комбинированного фильтра тока; соответствие фазировки цепей тока на полукомплекте защиты каждого конца линии; исправность отключающих цепей защиты и выключателя.

1. При проверке правильности подвода и схемы соединения токовых цепей защиты и трансформаторов тока измеряют величины вторичных токов в фазах. Вторичные токи в цепях защиты сравнивают с показаниями щитовых приборов защищаемой линии и с результатами измерений токов защиты противоположного конца линии.

Измеряют ток небаланса в нулевом проводе защиты. Проверку следует проводить при помощи малоомного миллиамперметра с сопротивлением 1—2 *ом* или лампового вольтметра с активным шунтом с сопротивлением 1 или 0,1 *ом*.

Наличие тока небаланса указывает на целость цепи нулевой последовательности. Поэтому, если при измерении тока небаланса прибор не дает отклонений, необходимо проверить исправность цепи нулевого провода замыканием на землю одной из фаз трансформатора тока и последующим отсоединением этой замкнутой на землю фазы от защиты. Результаты измерений заносят в табл. П-2-20 протокола.

2. Снимают векторную диаграмму вторичных токов нагрузки, для чего используют цепи напряжения от трансформатора напряжения, подключенного к шинам, на которые включена защищаемая линия.

Строят векторы первичных токов с учетом известной полярности трансформаторов тока и напряжения.

Векторные диаграммы токов сверяют с векторными диаграммами токов защиты противоположного конца линии.

Проверяют симметричность токов, чередование и правильность подвода фаз тока к зажимам реле. Ток должен подаваться в порядке чередования фаз *ABC* на зажимы *3—5—7* защиты. В нулевой провод включают реле *8РТ*, и цепь подается на зажим *1* защиты.

Проверяют величину и фазы напряжения, подводимого к устройству контроля. Величины токов, напряжений и векторные диаграммы заносят в табл. П-2-21 протокола.

3. Правильность включения комбинированного фильтра тока проверяют измерением э. д. с. на выходе фильтра при прямом и обратном чередовании фаз токов на входе защиты. Измерение э. д. с. производят при разомкнутой накладке *1Н3* вольтметром с большим внутренним сопротивлением.

Отношение э. д. с. фильтра, измеренной при обратном чередовании фаз тока, к э. д. с. при прямом чередовании фаз должно быть приблизительно равно уставке *k* фильтра тока.

Электродвижущие силы, измеренные при прямом и обратном чередовании фаз, сравнивают с расчетными величинами (см. табл. 1-1); они должны совпадать с точностью до 5%. Результаты измерений на обоих полукомплектах защит также должны совпадать с точностью до 5%.

Результаты проверки заносят в табл. П-2-22 протокола.

4. Проверяют совпадение фаз токов между защитами, установленными на противоположных подстанциях.

Предварительно путем прозвонки мегомметром определяют одноименные вспомогательные провода и правильность их присоединения к одноименным зажимам *5* и *6* вторичных обмоток изолирующих трансформаторов *ЗТИ* обоих полукомплектов защиты. Зажимы *3* и *4* первичных обмоток этих трансформаторов должны быть также присоединены соответственно к одноименным зажимам *4* и *2* обоих основных полукомплектов защиты. После установления правильности включения изолирующих трансформаторов и вспомогательных проводов проверяют совпадение фазировки токовых цепей обоих полукомплектов защиты.

Для проверки на полукомплекте защиты противоположного конца линии подключают фазу *А* трансформатора тока. Остальные две фазы, *В* и *С*, закорачивают на нулевой провод и отсоединяют от защиты. На проверяемом полукомплекте данной подстанции в это время поочередно присоединяют к токовым цепям фазы тока *А* и затем *В* и *С*. При этом на каждом полукомплекте защиты ламповым вольтметром с высоким сопротивлением измеряют напряжение на вспомогательных проводах защиты.

При включении одноименных фаз тока (фаз *А*) напряжение на обоих концах вспомогательных проводов приблизительно одинаково и не превышает 4 *в*. При включении на разноименные фазы *А* и *В* или *А* и *С* на противоположных подстанциях напряжение на проводах увеличивается до 10—25 *в*, в зависимости от уставки реле и нагрузки линии.

Аналогичную проверку производят при включении тока фазы *В*, а затем и тока фазы *С* на защите противоположного конца линии. Ток нагрузки при проверке должен составлять не менее 30—40% номинального.

Измеряют ток небаланса в нулевом проводе токовых цепей.

Результаты проверки заносят в табл. П-2-23 протокола.

Следует учесть, что при изменении уставок *h* и *k* необходимо

предварительно закоротить токовые цепи, так как при регулировке уставок могут быть разомкнуты цепи трансформаторов тока.

5. Фазировку защиты заканчивают проверкой под нагрузкой правильности включения вспомогательных проводов между защитами противоположных концов линии.

Проверку производят при полностью собранной схеме и симметричной трехфазной нагрузке. На защите проверяемого конца линии меняют местами (перекрещивают) вспомогательные провода, при этом измеряют напряжение на проводах; напряжение должно увеличиться до 10—15 *в*, и величина его зависит от нагрузки линии и уставок *k* и *h* защиты.

Восстанавливают нормальную схему вспомогательных проводов и повторяют измерение напряжения. Напряжение не должно превышать 1 *в*.

Глава четвертая

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРОВЕРКА ЗАЩИТЫ *ДЗЛ-1*

Эксплуатационную проверку защиты рекомендуется проводить 1 раз в 2 года в следующем объеме[1]:

1. Внешний осмотр реле, вспомогательных устройств, проверка монтажа защиты и механической части реле, аппаратов защиты и контроля вспомогательных проводов. Проверку проводят согласно подразделу 3—4.

2. Проверка сопротивления изоляции реле, вспомогательных устройств и всех соединений защиты. Проверку проводят согласно подразделу 3-5.

Испытание изоляции повышенным напряжением 1 000 *в* относительно земли проводят 1 раз в 3 года в полной схеме защиты.

3. Проверка рабочих уставок и характеристик защиты, в том числе:

а) Тока срабатывания и возврата в фазах *ВО* и *СА* при отключенных вспомогательных проводах защиты. Результаты сличаются с протоколом предыдущей проверки.

Допускается отклонение чувствительности в пределах ±5%.

б) Характеристики сопротивления срабатывания полукомплекта защиты для нескольких значений тока в фазах *СА* первичной цепи фильтра (до 15—20 *а*) при замене вспомогательных проводов магазином сопротивлений. Отклонение характеристики от ранее снятой не должно превышать ±5%.

Проверки по п. *а* и *б* проводят в соответствии с подразделами 3-9 и 3-11.

4. Проверка устройства автоматического контроля вспомогательных проводов защиты.

а) Проверяют ток срабатывания и возврата поляризованных реле в полной схеме защиты по подразделам 3-7, п. 2 и 3-7, п. 3.

б) Проверяют и, если это необходимо, устанавливают номинальный ток контроля 5,5 *ма* по 3-10, п. 2.

в) При полностью собранной схеме защиты и контроля проверяют, при каком максимальном сопротивлении замыкания на землю срабатывает реле контроля изоляции. Проверку производят путем подбора сопротивления на магазине сопротивлений, включаемом поочередно между каждым вспомогательным проводом защиты и

[1] Первую эксплуатационную проверку рекомендуется провести через год после нового включения, а последующие 1 раз в 2 года.

землей на испытательном блоке *16ИБ*. Проверку ведут по подразделу 3-10.

г) Проверяют работу контроля совместно с защитой при поочередном обрыве каждого вспомогательного провода.

д) Проверяют работу контроля совместно с защитой при перемежающемся обрыве одного из вспомогательных проводов защиты. При проверках по п. *г* и *д* желательно, чтобы ток нагрузки был не менее 0,6 $I_{ном}$.

е) Проверяют работу контроля совместно с защитой при многократном замыкании вспомогательных проводов.

При проверках по пп. *г*, *д* и *е* выходное реле *1РП* не должно срабатывать. Эту проверку ведут в соответствии с подразделом 3-12, п. 2.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Основные технические данные

Наименование	Обозначение в схеме	Тип	Наименование обмоток		
Реле дифференциальное	*1ПР1*	*РП-7*	Рабочая Тормозная		
Реле контроля исправности	*1ПР—2*	*РП-7*	Рабочая Тормозная Компенсационная		
Реле выходное промежуточное	*1РП*	—	Исполнение по току	1*а*	Параллельная $w_р = w_т$ Последовательная $w_1 = w_2$
				2*а*	Параллельная $w_р = w_т$ Последовательная $w_1 = w_2$
				4*а*	Параллельная $w_р = w_т$ Последовательная $w_1 = w_2$
Реле контроля изоляции	*2ПР1*	*РП-7*	—		Рабочая[1] Рабочая[1]
Реле максимального тока	*8РТ*	ЭТ-523/2	—		—
Реле указательное	*4РУ* *5РУ*	ЭС-21/1	—		—
Реле указательное	*6РУ*	ЭС-21/0,025	—		—
Реле указательное	*7РУ*	ЭС-21/110 (220)	—		—
Микроамперметр	*2Г1*	М-494 100 *мка*	—		—

[1] Обе обмотки реле соединены последовательно.

5. Проверка взаимодействия всех реле в полной схеме защиты. Проверку ведут при напряжении оперативного тока 80% номинального в соответствии с подразделом с 3-12, п. 1.

6. Проверка защиты током нагрузки линии; проводят в соответствии с подразделом 3-13.

При испытаниях следует опустить проверку совпадения фаз тока между защитами противоположных подстанций (3-13, п. 4).

Эту проверку проводят лишь в тех случаях, когда отсоединялись токовые концы от зажимов панели, например при перемонтаже или переводе защиты на другие трансформаторы тока хотя бы на одной из подстанций.

7. Проверяют действие защиты на отключение выключателя.

ПРИЛОЖЕНИЕ П-1

ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ *ДЗЛ-1*

Таблица II-1-1

реле и микроамперметра

Число витков обмотки	Марка провода	Сопротивление обмотки, *ом*	Ток срабатывания, *ма*	Ток возврата, *ма*	Расстояние между контактами, *мм*
11 000 1 400	ПЭЛ-0,1 ПЭЛ-0,1	1 250 79	2,4—2,5 —	1—1,25 —	0,4—0,5 —
9 000 630 240	ПЭВ1-0,1 ПЭВ1-0,1 ПЭВ1-0,1	900 — 12	2,5 — —	1,25—1,5 — —	0,4—0,5 — —
4 000 72	ПЭВ2-0,1 ПЭВ2-0,38	— —	— —	— —	— —
4 000 36	ПЭВ2-0,1 ПЭВ2-0,55	— —	— —	— —	— —
4 000 18	ПЭВ2-0,1 ПЭВ2-0,8	— —	— —	— —	— —
4 000 25 000	ПЭЛ-0,06 ПЭЛ-0,06	600 8 000	0,8 —	0,3—0,5 —	0,4—0,5 —
50×2	ПБД-1,25	—	2 000	1 700	—
180	ПЭЛ-1	0,2	1 000	—	—
7 200	ПЭЛ-0,17	320	25	—	—
32 000 61 000	ПЭЛ-0,07 ПЭЛ-0,05	7 500 28 000	— —	— —	— —
—	—	—	—	—	—

Таблица П-1-2

Основные технические данные трансреактора, трансформаторов и дросселя

Наименование	Обозначение в схеме	Наименование обмоток	Число витков	Марка провода	Сопротивление обмотки постоянному току, *ом*	Тип пластин стали	Сечение стали, *см²*	Примечания
Трансреактор фильтра токов	*1ТФ*	Первичная	w_1=18; отпайки от 9-го и 12-го витков	ПБД-1,95	—	Ц=25	15,7	Воздушный зазор, 3 *мм*
		Первичная	w_0=6; отпайка от 3-го и 4-го витков	ПБД-1,95	—	—	—	
		Вторичная	w_2=85	ПЭВ1-1,16	—	—	—	
Трансформатор промежуточный	*1ТП*	Первичная Вторичная Вторичная	w_1=80 w_2=2 000 w_3=14 000	ПБД-1,16 ПЭВ-0,14 ПЭВ1-0,08	— 150 3 750	Ц=7,5	0,9	Вторичные обмотки соединены последовательно
Трансформатор напряжения стабилизированный	*2ТН*	Первичная Вторичная Вторичная	w_1=3 000 w_3=1 300 w_4=1 600	ПЭВ2-0,2 ПЭВ2-0,25 ПЭВ2-0,25	145 28 49	Ц=16/4	10/2,5	Первичная обмотка расположена на широком керне, а вторичные на узком
Дроссель	*2Д*	—	14 000	ПЭВ2-0,1	—	Ш=12	2,7	Полное сопротивление дросселя при $f=50$ *гц* $z=400\,000-600\,000$ *ом*
Трансформатор изолирующий	*3ТИ*	Первичная Вторичная	850 1 275×2	ПЭВ2-0,8 ПЭВ2-0,35	7,9 147	Ш=30	21	Вторичная обмотка разделена на две равные секции

Таблица П-1-3

Основные технические данные конденсаторов

Наименование	Обозначение в схеме	Тип	Количество	Суммарная емкость, *мкф*	Допустимое отклонение от номинала, %	Рабочее напряжение, *в*
Конденсатор	*1C1*	МБГО	1	2	±10	160
Конденсатор	*1C2*	МБГО	1	2	±10	160
Конденсатор	*1C3*	МБГО	2	6	±10	160
Конденсатор выходного реле	*1C4*	МБГО	3	30	±10	160
Конденсатор электролитический	*1C5*	ЭГЦ	1	200	—	50
Конденсатор „стабилизации"	*2C1*	МБГО	1	1	±10	600
Конденсатор электролитический „памяти" . .	*2C2*	ЭГЦ	2	400	—	50
Конденсатор электролитический „сглаживающий"	*2C3*	ЭГЦ	1	200	—	50
Конденсатор разделительный	*3C1*	МБГП	1	10	±10	400

Таблица П-1-4

Основные технические данные сопротивлений

Наименование	Обозначение в схеме	Тип	Номинальное сопротивление, *ом*	Допустимое отклонение, %
Сопротивление фильтра тока для грубой регулировки[1] . .	*1R1*	—	0,58	—
	1R2	—	0,58	—
Сопротивление фильтра тока для плавной регулировки . .	*1R1*	—	6,5	—
	1R4	—	6,5	—
Сопротивление	*1R5*	МЛТ-I	15 000	±10
Сопротивление добавочное к реле *6РУ*	*1R7*	ПЭ-15	2 500* / 5 000	—
Сопротивление добавочное к реле *1ПР2*	*1R8*	ПЭ-15	2×2 500* / 2×5 000	±5
Сопротивление добавочное к реле *1РП*	*1R6*	ПЭ-15	1 500* / 4 000	

Продолжение

Наименование	Обозначение в схеме	Тип	Номинальное сопротивление, *ом*	Допустимое отклонение, %
Сопротивление добавочное . .	*2R1*	МЛТ	10 000	±10
Сопротивление добавочное . .	*2R2*	МЛТ	100 000	±10
Сопротивление регулируемое—шунт	*2R3*	СП	0—1 000	—
Сопротивление	*2R4*	ППЗ	560	—
Сопротивление регулируемое—шунт	*2R5*	ПЭВХ-10	0—12	—

[1] Выполнено из константана d=1,8 *мм*.
* В числителе — для напряжения постоянного тока 110 *в*, а в знаменателе — 220 *в*.

Приложение П-2

ПАСПОРТ-ПРОТОКОЛ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРОВЕРКИ И НАЛАДКИ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ДЗЛ-1

_____совнархоз _____
дата проверки

_____энергосистема

_____ _____
станция, подстанция защищаемый объект

ПРОТОКОЛ №_____ПРОВЕРКИ ЗАЩИТЫ

_____
наименование проверки

Таблица П-2-1

Паспортные и номинальные данные полукомплекта защиты

Наименование	Заводский номер	Данные
Устройство 1 (реле дифференциальное *ДЗЛ-1*)		Номинальный ток, *а*_____ Напряжение оперативного тока, *в*_____ Ток удерживающих катушек, *а*_____

Продолжение

Наименование	Заводский номер	Данные
Устройство 2 контроля соединительных проводов)		Номинальное напряжение переменного тока, *в*———
		Номинальный ток контроля *ма*———
Устройство 3 (изолирующий трансформатор)		Номинальный коэффициент трансформации ———
		Номинальная емкость, *мкф*———
Указательные реле	4,5	Тип реле, ЭС21
	6,7	Тип реле, ЭС21
Вспомогательные провода		Тип кабеля———
		Длина, *км*———
		Сопротивление, *ом*———
		Емкость, *мкф*———

Заданные уставки $h = \ldots$ $\kappa = \ldots$

Таблица П-2-2

Проверка внешних цепей защиты

Объект проверки	№ протокола	Дата проверки
Трансформаторы тока и их цепи		
Цепи от трансформаторов напряжения		
Отключающая катушка и ее цепи		
Блок-контакты выключателей и их цепи		
Вспомогательные провода защиты		

Таблица П-2-3

Проверка принципиальной и монтажной схем, монтажа защиты и маркировки

Наименование	Выполнено по чертежу №———; состояние монтажа и маркировки
Монтаж на панели	
Монтаж устройства 1	
Монтаж устройства 2	
Монтаж устройства № 3	
Маркировка элементов защиты и всех цепей . .	

Таблица П-2-4

Внешний осмотр, проверка механической части реле, аппаратов защиты и контроля

Нанменование	Тип	Обозначение в схеме	Подвергалось ли регулировке. Состояние
Реле поляризованное	РП-7	*1ПР1*	
» »	РП-7	*1ПР2*	
» »	РП-7	*2ПР1*	
Реле промежуточное выходное	РП-21	*1РП*	
Реле токовое	ЭТ-523/2	*8РТ*	
Реле указательные	ЭС-21	*4РУ—7РУ*	
Трансреактор фильтра	—	*1ТФ*	
Сопротивление фильтра	—	*1R1—1R4*	
Трансформатор	—	*1ТП*	
Конденсаторы	—	*1С1—1С5*	
Мосты выпрямительные	Д7Г	*1МВ1, 1МВ2 2МВ*	
Сопротивления	ПЭВ	*1R5, 1R8*	
Стабилизаторы напряжения	СГ4С	*1СТ1, 1СТ2*	
Трансформатор	—	*2ТН*	
Конденсатор	МБГО	*2С1*	
Диоды	Д7Г	*2ДГ1, 2ДГ2*	
Конденсаторы электролитические	ЭГЦ	*2С2, 2С3*	
Сопротивления		*2R1—2R5*	
Кнопки включения	КВ6, *а*	*2К1, 2К2*	
Микроамперметр	М49	*2Г*	
Дроссель	—	*2Д*	
Трансформатор изолирующий	—	*3ТИ*	
Конденсатор разделительный	МБГП	*3С1*	
Накладки	НКР	*9Н, 10Н, 11Н*	
Испытательные блоки		*12ИБ, 17ИБ*	

Таблица П-2-5

Проверка сопротивления и испытание изоляции реле вспомогательных устройств и всех соединений защиты

Объект	Изоляция цепей, *Мом*			
	защиты, смонтированной на панели		смонтированных вне панели	
	на землю	между проводами	на землю	между проводами
Токовые цепи				
Цепи напряжения переменного тока				
Цепи напряжения постоянного тока				
Цепи контроля вспомогательных проводов и цепи сигнализации				
Цепь вспомогательных проводов				

Проверка изоляции напряжением ——— в течение 1 *мин.*

Таблица П-2-6

Измерение сопротивления вспомогательных проводов защиты

Схема проверки	Результаты проверки		
	U, в	I, а	$R_{петли}=\frac{U}{I}$, ом

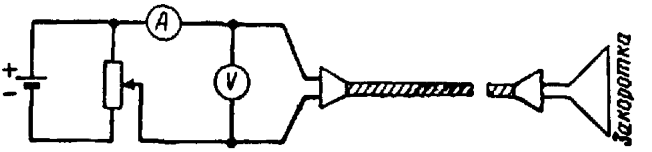


Таблица П-2-7

Измерение емкости вспомогательных проводов

Схема проверки	Результаты проверки		
	U, в	I, а	$C=\frac{I\cdot10^6}{314U}$, мкф

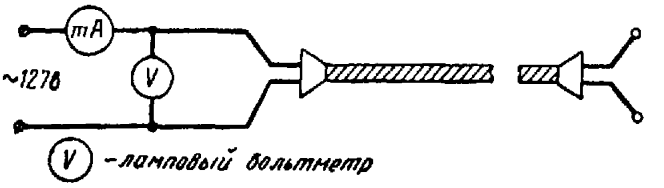


Таблица П-2-8

Проверка и регулировка поляризованного реле *1ПР1*

Схема проверки	Результаты проверки			
	Ток срабатывания		Ток возврата	
	Рабочая обмотка	Тормозная обмотка	Рабочая обмотка	Тормозная обмотка

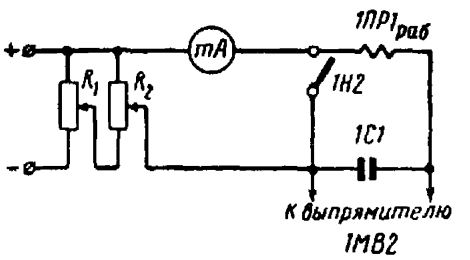


Таблица П-2-9

Проверка и регулировка поляризованного реле *1ПР2* контроля вспомогательных проводов

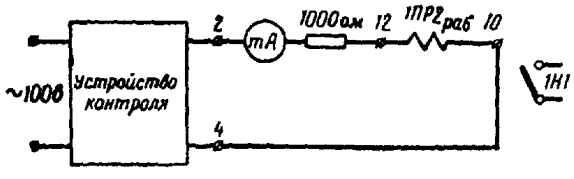
Схема проверки	Результаты проверки			
	Ток срабатывания, *ма*		Ток возврата, *ма*	
	$I_{торм}=0$	$I_{торм}=22-24$	$I_{торм}=0$	$I_{торм}=22-24$
				

Таблица П-2-10

Проверка и регулировка поляризованного реле 2ПР1 контроля изоляции вспомогательных проводов

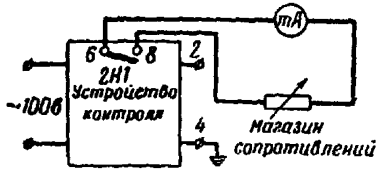
Схема проверки	Результаты проверки	
	Ток срабатывания, *ма*	Ток возврата, *ма*
	Сопротивление срабатывания, *ком*	Сопротивление возврата, *ком*

Таблица П-2-11

Проверка промежуточного реле *1РП*

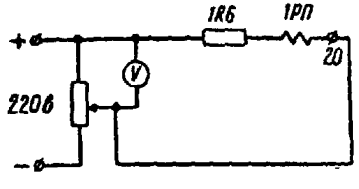
Схема проверки	Результаты проверки	
	Напряжение, *в*	
	срабатывания	возврата
		

Таблица П-2-12

Проверка токового реле *8РТ*

Ток срабатывания, *а*	
Ток возврата, *а*	
Работа реле при токах от 1,05 $I_{ср}$ до $I_{макс}$	

Таблица П-2-13

Проверка указательных реле 4РУ—7РУ

Тип реле	*4РУ*	*5РУ*	*6РУ*	*7РУ*
Ток (напряжение) срабатывания, *а*, *в*				

Таблица П-2-14

Регулировка уставок защиты и проверка фильтра тока (схему проверки см. рис. 2-3)

Ток срабатывания, *а*				Уставки	
обратной последовательности	прямой последовательности	в фазах		*h*	*k*
		B0	*AC*		

Максимальный ток трехфазного короткого замыкания $I^{3}_{макс}=\ldots a$

Таблица П-2-15

Измерение потребления мощности в цепях тока на фазу (схему проверки см. рис. 2-3)

Токи в фазах	$I_A=5$ *а*	$I_B=5$ *а*	$I_C=5$ *а*
Падение напряжения на фазу, *в*	$U_{A0}=$	$U_{B0}=$	$U_{C0}=$
Потребление мощности на фазу, *ва*	$P_A=U_{A0}I_A=$	$P_B=U_{B0}I_B=$	$P_C=U_{C0}I_C=$

Таблица П-2-16

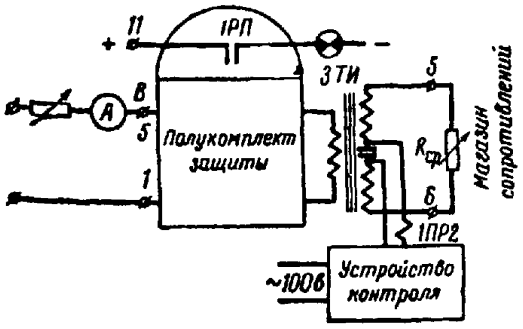
Проверка реле контроля вспомогательных проводов

Реле *IIIР*	$R_{раб}$=...*ом*	$R_{торм}$=...*ом*	$R_{комп}$=...*ом*	$I_{ср}$=...*ма*	$I_{в}$=...*ма*	$I_{торм}$=...*ма*
Реле *2IIP1*	$R_{раб}$=...*ом*	$R_{ср}$=...*ом*	—	$I_{ср}$=...*ма*	$I_{в}$=...*ма*	—

Установленный ток контроля $I_{к}=\ldots$ *ма*.

Таблица П-2-17

Характеристика сопротивления срабатывания полукомплекта защиты

Схема проверки	Результаты проверки								
	I_{BO}, а	2	3	5	7	10	15	20	30
	$R_{ср1}$, ом								
	$R_{ср2}$, ом								
	α								

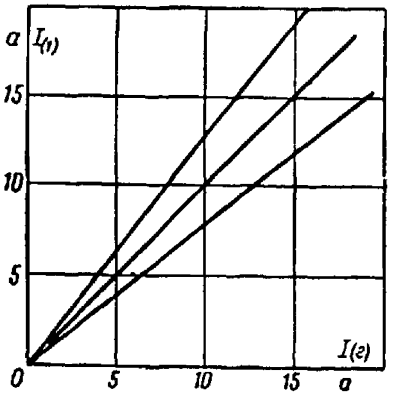
$R_{ср1}$—сопротивление срабатывания полукомплекта защиты данного конца линии;

$R_{ср2}$—то же полукомплекта противоположного конца линии. Погрешность сопротивления срабатывания $\alpha = \frac{(R_1 - R_2)}{R_1}\ 100\%$.

Таблица П-2-18

Тормозная характеристика защиты

$I_{(2)}$, а		0	2	3	4	5	6	8	10
$I_{(1)ср}$, а	(1)								
	(2)								



Снятие характеристик ведется током в цепи фазы В0 при угле $\varphi = 180 \pm 25°$ для заданных уставок h и k. Характеристика вычерчивается на рис. П-2-18.

Таблица П-2-19

Проверка взаимодействия реле в защите

№ п/п.	Проверяемая характеристика	Результаты проверки
1	Напряжение постоянного тока, *в*	
2	Ток контроля, *ма*	
3	Последовательность действия реле в полной схеме защиты после замыкания контакта реле *1ПР1* от руки	
4	То же, но при обрыве цепи одного из вспомогательных проводов защиты	
5	То же, что и в п. 3, но при разомкнутых обоих контактах реле *8РТ*	
6	Последовательность действия реле при замкнутой накладке 1Н и контакте 1ПР1 и оборванной цепи вспомогательных проводов	
7	Замыкание контакта реле *2ПР1* от руки	
8	Заземление цепи одного из вспомогательных проводов а) накладка 2Н1 замкнута б) накладка 2Н1 разомкнута	
9	Действие контроля при замыкании цепи вспомогательных проводов	
10	Действие контроля при обрыве цепи вспомогательных проводов	
11	Действие защиты на отключение выключателя	

Таблица П-2-20

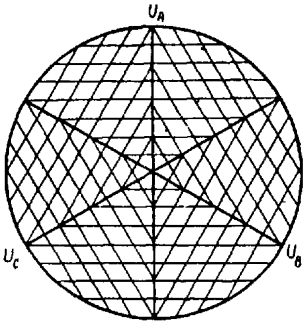
Проверка токовых цепей защиты

Измеряемые токи	I_A	I_B	I_C	$3I_0$	$3I_0$*
Токи линии (по щитовым приборам), *а*					
Вторичные токи проверяемого полукомплекта защиты, *а*					
То же полукомплекта защиты противоположного конца линии, *а*					

*) При отключенной фазе тока.

Таблица П-2-21

Векторная диаграмма вторичных токов нагрузки



Показания щитовых приборов	
Активная мощность от шин ——— *квт* к шинам ——— *квт*	Реактивная мощность от шин ——— *ква* к шинам ——— *ква*

Снятие векторной диаграммы

Показания ваттметра, *вт* или градусы				Показания вольтметра и амперметра		
Напряжение	С током I_A	С током I_B	С током I_C	Напряжения, *в*		Токи, *а*
				линейные	фазовые	
U_A				$U_{AB}=$	$U_A=$	$I_A=$
U_B				$U_{BC}=$	$U_B=$	$I_B=$
U_C				$U_{CA}=$	$U_C=$	$I_C=$
U_A						$3I_0=$
U_B						$3I_0^*=$
U_C						

Трансформатор тока: $n_т=$; Трансформатор напряжения $n_н$; 1° ваттметра ... *вт*.

* При отключенной фазе.

Таблица П-2-22

Проверка правильности включения комбинированного фильтра тока

Токи в фазах $I_A = I_B = I_C = \ldots a$

Электродвижущая сила E_1 на выходе фильтра при прямом чередовании фаз тока ... *в*

Электродвижущая сила E_2 при обратном чередовании фаз тока ... *в*

Отношение э. д. с. $\frac{E_2}{E_1} =$

Уставка *к*

Таблица П-2-23

Проверка совпадения фаз токов между защитами на противоположных подстанциях

Ток линии *I* ... *а*

На защите противоположного конца линии включен ток фазы	Напряжение на вспомогательных проводах					
	данного полукомплекта			противоположного полукомплекта		
	На проверяемой защите включен ток фазы			На проверяемой защите включен ток фазы		
	A	*B*	*C*	*A*	*B*	*C*
A						
B						
C						

ПРИЛОЖЕНИЕ П-3

РАСЧЕТ И ВЫБОР УСТАВОК ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ *ДЗЛ-1*

Надежная работа защиты *ДЗЛ-1* во многом зависит от правильного ее расчета и выбора уставок, которые должны дать все необходимые параметры для выдачи заказа заводу-изготовителю,

монтажа защиты, а также все исходные данные для первой наладки защиты перед вводом ее в эксплуатацию.

Расчет состоит из: 1) определения токов короткого замыкания; 2) выбора коэффициентов трансформации трансформаторов тока; 3) определения токов срабатывания защиты и выбора уставок h и k комбинированного фильтра тока.

1. Расчет токов короткого замыкания производится одним из принятых методов, погрешность которого не превосходит 10%.

Расчетами токов короткого замыкания определяются:

а) Максимальный первичный ток трехфазного короткого замыкания $I^{(3)}_{\text{макс}}$, протекающий по одному концу линии при повреждении в защищаемой зоне. Этот ток определяется обычно при максимальном режиме работы системы, а в ряде случаев с учетом развития системы в ближайшие 3—5 лет.

б) Минимальный суммарный первичный ток трехфазного короткого замыкания $I^{(3)}_{\text{мин}}$, притекающий с обеих сторон к месту повреждения линии. Этот ток определяется в минимальном режиме при двустороннем питании линии или при одностороннем питании, если последний режим возможен в эксплуатационных условиях, а отключение линии в этом случае от резервных защит с выдержкой времени недопустимо.

в) Минимальные суммарные первичные токи короткого замыкания прямой $I_{1\text{мин}}$ и обратной $I_{2\text{мин}}$ последовательностей, притекающие с обеих сторон к месту повреждения линии для режимов, указанных в п. б. Определяющим видом повреждения для расчета токов короткого замыкания, как правило, является двухфазное замыкание на землю.

2. Расчет и выбор коэффициентов трансформации трансформаторов тока. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока $n_т$ рассчитываются по максимальному току короткого замыкания. Эти коэффициенты, как правило, должны быть одинаковыми для обоих концов защищаемой линии.

Коэффициенты трансформации $n_т$ желательно выбирать с таким расчетом, чтобы максимальный вторичный ток при трехфазном коротком замыкании не превосходил 100 a.

При этом коэффициент $n_т$ принимает значение:

$$n_т = \frac{I^{(3)}_{\text{макс}}}{100}.$$

При вторичном токе короткого замыкания, не превышающем 100 a, выбор уставки h не лимитируется вторичным током короткого замыкания, и эта уставка в зависимости от значения минимальных величин токов короткого замыкания может быть принята равной 1; 1,5 или 2 a.

Если же первичные токи короткого замыкания настолько велики, что подобрать удовлетворительное значение $n_т$ для стандартных трансформаторов тока указанным выше способом не представляется возможным и вторичные токи достигают 150 a, то следует определить $n_т$ из следующего выражения:

$$n_т \geqslant \frac{I^{(3)}_{\text{макс}}}{150}.$$

Однако при этом следует учесть, что уставка не может быть принята меньшей, чем 1,5 *а*.

Наконец, для случая, когда $n_т$ определяется из выражения $n_т \simeq \frac{I^{(3)}_{макс}}{200}$, установка h для вторичных токов, больших чем 150 *а*, должна быть принята равной 2 *а*.

При относительно малых токах короткого замыкания коэффициент трансформации выбирается обычным способом по максимальному току нагрузки линии.

Во всех случаях целесообразно так выбрать $n_т$, чтобы вторичный ток в нормальном режиме работы линии, как правило, не превосходил 4 *а*, что повышает надежность работы защиты при повреждениях в зоне в режиме одностороннего питания, а также надежность автоматического контроля при обрыве цепи вспомогательных проводов защиты.

Трансформаторы тока для защиты должны удовлетворять условию 10%-ной погрешности. Никаких других требований к типу трансформаторов тока для защиты *ДЗЛ-1* не предъявляется. Для этой защиты целесообразно иметь однотипные трансформаторы тока по концам защищаемой линии.

Однако это требование выполнять не обязательно, так как селективность действия защиты при внешних коротких замыканиях обеспечивается при расхождении токов по концам линии по величине на ±20% и по углу на ±25°.

В тех случаях, когда коэффициенты $n_т$ для обоих концов линии не представляется возможным выбрать одинаковыми и они отличаются в 1,5 или 2 раза, то выравнивание коэффициентов трансформации трансформаторов осуществляется выбором соответствующей уставки h, равной 1,5 или 2. При этом должно быть соблюдено условие равенства ампервитков в обоих полукомплектах защит (1 и 2), т. е. $n_{т(1)}h_{(1)} = n_{т(2)}h_{(2)}$.

При распределении нагрузок на трансформаторы тока желательно последовательно с токовой цепью защиты не включать каких-либо других защит или приборов, так как даже кратковременный обрыв токовой цепи в одном из полукомплектов защиты может привести к неправильному срабатыванию защиты на одном или на обоих концах линии.

3. Расчет токов србатывания защиты ДЗЛ-1 и выбор уставок h и k комбинированного фильтра. Как известно, при повреждении в защищаемой зоне сумма токов срабатывания обоих полукомплектов защиты равна сумме токов, притекающих к месту повреждения от обоих концов защищаемой линии. Это условие действительно независимо от распределения этих токов по концам линии. Для простоты расчета выбор токов срабатывания, анализ и оценка чувствительности защиты могут производиться по току короткого замыкания в месте повреждения вне зависимости от распределения этого тока по концам защищаемой линии.

Указанное в полной мере справедливо также и для симметричных составляющих полного тока короткого замыкания, так как величина э. д. с. на выходных зажимах фильтра, как это было ранее показано, пропорциональна заданной комбинации симметричных составляющих токов прямой и обратной последовательности фаз.

Оценка чувствительности защиты ДЗЛ-1 аналогично другим продольным защитам производится при помощи коэффициента чувствительности $k_ч$. Этот коэффициент для продольных дифференциальных защит линии, согласно «Правилам устройства электроустановок», п. III-2-20,*д*, должен быть

$$k_ч \geqslant 2.$$

Тогда ток срабатывания защиты ДЗЛ-1 по обратной последовательности $I_{2сз}$ определится из выражения:

$$I_{2сз} = I_{2сз.мин} h = \frac{I_{2\,мин}}{k_ч} \leqslant \frac{I_{2\,мин}}{2},$$

откуда

$$h \leqslant \frac{I_{2\,мин}}{2};$$

здесь $I_{2сз.мин}$ — минимальный суммарный ток срабатывания защиты, равный 1 *а* тока обратной последовательности;

h — уставка, равная 1; 1,5 или 2, показывает, во сколько раз защита *ДЗЛ-1* загрублена одновременно по току прямой и обратной последовательности по сравнению с минимальным током срабатывания. Уставка h регулируется с помощью изменения числа витков первичной обмотки трансреактора путем переключения накладки *1Н4*;

$I_{2\,мин}$ — минимальный ток короткого замыкания обратной последовательности.

Ток срабатывания защиты *ДЗЛ-1* по прямой последовательности определяется из выражения:

$$I_{1сз} = I_{2сз.мин} kh = I_{2сз}\, k = \frac{I^{(3)}_{мин}}{k_ч} \leqslant \frac{I^{(3)}_{мин}}{2},$$

откуда

$$k = \frac{I_{1сз}}{I_{2сз}} \leqslant \frac{I^{(3)}_{мин}}{2I_{2сз}},$$

где $I_{1сз}$ — суммарный ток срабатывания защиты по прямой последовательности. Коэффициент k показывает, во сколько раз защита *ДЗЛ-1* чувствительнее к току обратной последовательности, чем к току прямой.

Этот коэффициент регулируется в защите в пределах *4 — 10* **изменением величины** сопротивлений *1R1 — 1R4* в цепях тока фаз *А* и *С*, т. е. $10 \geqslant k \geqslant 4$; $k \leqslant \frac{I^{(3)}_{мин}}{2I_{2сз}}$.

Правильность выбора коэффициента k должна быть проведена также по чувствительности защиты при несимметричных коротких замыканиях в защищаемой зоне, когда фазовые соотношения между токами различных последовательностей наименее благоприятны.

При однофазном и двухфазном коротких замыканиях на землю коэффициент k должен удовлетворять выражению

$$k \geqslant \frac{I_{1\,\text{мин}}}{I_{2\,\text{мин}} - 2h}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ П-4

ПРИМЕРНАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ *ДЗЛ-1*

П-4-1. НОРМАЛЬНАЯ РАБОТА ЛИНИЙ; ЗАЩИТА ВКЛЮЧЕНА

Нормально защита должна быть включена для действия на отключение выключателей. При этом должны быть соблюдены следующие условия.

1. Постоянные штепсельные крышки испытательных блоков *12ИБ—17ИБ* в цепях переменного тока, напряжения, постоянного тока и в цепи вспомогательных проводов должны быть вставлены до конца, зажаты боковыми винтами и запломбированы.

2. Трехпозиционные накладки *9Н* и *10Н* должны быть установлены в положение «Отключение».

3. Двухпозиционная накладка *11Н* должна быть разомкнута, а *2Н1* — замкнута.

4. Положение указательных реле защиты должно соответствовать исправному ее состоянию. Все флажки указательных реле должны быть подняты.

П-4-2. ВЫВОД ЗАЩИТЫ ИЗ ДЕЙСТВИЯ

Защита должна быть выведена из действия с разрешения диспетчера на обоих концах защищаемой линии при следующих ненормальных режимах:

1. Неисправность в цепях тока защиты хотя бы на одном конце линии или другие неисправности, по указанию персонала службы защиты.

2. Обрыв цепи вспомогательных проводов, сигнализируемый выпадением флажка указательного реле *6РУ*.

3. Предполагаемая работа в цепях защиты и вспомогательных проводов.

4. Вывод выключателя совместно с трансформаторами тока на проверку или в ремонт и работа в цепях трансформаторов тока.

Для вывода защиты из действия необходимо накладки *9Н* и *10Н* в цепи отключения перевести в положение «Сигнал».

О выводе защиты сообщить дежурному подстанции противоположного конца линии.

П-4-3. ОПЕРАЦИИ С ЗАЩИТОЙ ПРИ ОПРОБОВАНИИ ЛИНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ ИЛИ РАБОТАХ НА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ

Если трансформатор напряжения, питающий устройство контроля цепи вспомогательных проводов, установлен на шинах подстанции, от которых производится опробование линии, например, после ремонта ее, то никаких операций с защитой производить не следует.

Если же указанный трансформатор напряжения находится на линии или на шинах противоположной подстанции, то перед опробованием линии напряжением от шин данной подстанции необходимо замкнуть накладку *11Н*, шунтирующую контакт реле *1ПР2* контроля. Шунтирование контактов *1ПР2* может производиться также автоматически, от ключа управления выключателей. В этом случае никаких операций с накладкой *11Н* производить не следует.

После включения линии с обеих сторон накладка *11Н* должна быть разомкнута, если до этого она была замкнута.

Если линия отключена с одного конца с помощью выключателя, например, выводимого в ремонт, то на этом конце линии защита должна быть выведена из действия снятием накладок *9Н* и *10Н*.

На противоположном конце линии, оставшейся под напряжением, защита должна быть включена нормально.

П-4-4. РЕГИСТРАЦИЯ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ

При каждой работе защиты на отключение или работе устройства контроля исправности вспомогательных проводов дежурный должен записать в журнале:

1. Действие указательных реле и номера выпавших флажков реле.
2. Время и причину действия защиты или устройства контроля.

П-4-5. СИГНАЛИЗАЦИЯ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТЫ

1. При коротком замыкании в защищаемой зоне выпадают флажки указательных реле *4РУ* и *5РУ* (флажок реле *5РУ* выпадает при наличии двух выключателей на каждом присоединении.)
2. При обрыве цепи вспомогательных проводов или при обрыве цепи переменного напряжения, питающего устройство контроля, выпадает флажок реле *6РУ*.
3. При замыканиях на землю любого из вспомогательных проводов выпадает флажок указательного реле *7РУ*.

ПРИЛОЖЕНИЕ П-5

Список приборов, необходимых для испытания и наладки защиты *ДЗЛ-1*

№ п/п.	Наименование	Тип	Количество, шт.
1	Амперметр электромагнитный астатический 2,5—5 *а*	АСТ	3
2	Трансформатор тока измерительный	И54	3
3	Вольтметр ламповый*	МВЛ-2М	1
4	Электронный миллисекундомер**	ЭМС-54	1
5	Магазин сопротивлений 0—10 000 *ом*	КМС-4	1
6	Магазин емкостей**	Р513	1
7	Многопредельный авометр	Ц-312 или Ц-315	1
8	Мост для измерения сопротивлений**	—	1
9	Фазометр 100—220 *в*, 5—10 *а*	ЭЛФ	1
10	Ваттметр 2,5—5 *а*, 100 *в*	—	1
11	Фазоуказатель	—	1
12	Модель вспомогательных проводов** (см. рис. 2-18)	—	1
13	Лабораторный автотрансформатор типа Латр 0—250 *в*, $I_{макс} = 2$ *а*	—	1
14	Реостаты разные $I_{ном}=5$ *а*, $I_{ном}=0{,}5$ *а*	—	5

* Может быть заменен другим вольтметром с потреблением, не превышающим 1 *ма* (сопротивление порядка 1 000 *ом* на 1 *в* шкалы).

** Необходимы только при типовых испытаниях.

ПРИЛОЖЕНИЕ П-6

Опросный лист для заказа продольной дифференциальной защиты линий *ДЗЛ-1* (заполняется заказчиком)

Запрашиваемые данные	Данные, сообщаемые заказчиком	
	Подстанция №	Подстанция №
Напряжение оперативного постоянного тока (110 или 220 *в*)		
Номинальный ток удерживания выходного промежуточного реле (1, 2 и 4 *а*)		
Род присоединения реле *ДЗЛ-1* (переднее или заднее)		
Род присоединения устройства контроля *УК1* (переднее или заднее)		

Примечание. Всю остальную релейную аппаратуру, помимо устройств У1, У2 и У3, входящую в защиту, следует заказывать независимо от упомянутых устройств.

Организация

Адрес грузополучателя

Дата

Подпись

ВЫВОД ВЫРАЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО СОПРОТИВЛЕНИЕ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕ *1ПР1*

Условия срабатывания реле 1ПР1 можно выразить следующим уравнением:

$$Aw_{н} = Aw_{ср} + Aw_{т}, \qquad (П\text{-}7\text{-}1$$

где $Aw_{н}$ — ампервитки обмотки напряжения реле;

$Aw_{ср}$ — ампервитки срабатывания реле при обесточенной обмотке тока;

$Aw_{т}$ — ампервитки обмотки тока реле.

Из рис. 1-14 следует, что

$$\dot{I}_{л} = \frac{\dot{U}_{л.ср}}{z_{ср}}; \quad \dot{I}_{н} = \frac{\dot{U}_{л.ср}}{R_{н}}; \quad \dot{I}_{т} = \dot{I}_{л} + \dot{I}_{н} = \dot{U}_{л.ср}\left(\frac{1}{z_{ср}} + \frac{1}{R_{н}}\right).$$

Подставляя полученные значения тока в равенство (П-7-1), получим:

$$\left| w_{н}\frac{\dot{U}_{л.ср}}{R_{н}} \right| - Aw_{ср}| = w_{т}\dot{U}_{л.ср}\left(\frac{1}{z_{ср}} + \frac{1}{R_{н}}\right)\Bigg|,$$

или

$$\frac{w_{н}}{w_{т}R_{н}} - \left| \frac{Aw_{ср}}{w_{т}\dot{U}_{л.ср}} \right| = \left|\left(\frac{1}{z_{ср}} + \frac{1}{R_{н}}\right)\right|,$$

где $w_{н}$ и $w_{т}$ — число витков соответственно обмотки напряжения и тока реле 1ПР1;

$I_{н}$ и $I_{т}$ — токи в обмотках напряжения и тока реле;

$R_{н}$ — сопротивление цепи напряжения реле, равное сопротивлению обмотки напряжения реле и прямому сопротивлению двух диодов выпрямительного моста;

$z_{ср}$ — сопротивление, подключенное к зажимам *а—б* реле схемы рис. 1-14, при котором реле срабатывает;

$$\frac{w_{н}}{w_{т}} - \frac{Aw_{ср}R_{н}}{w_{т}U_{л.ср}} = \sqrt{\frac{(R_{н} + R_{ср})^2 + X_{ср}^2}{R_{ср}^2 + X_{ср}^2}}.$$

Произведя замену левой части через коэффициент k и возведя во вторую степень обе части равенства, получим:

$$k^2 = \frac{(R_{н} + R_{ср})^2 + X_{ср}^2}{R_{ср}^2 + X_{ср}^2},$$

или

$$k^2R_{ср}^2 + X_{ср}^2(k^2 - 1) = R_{н}^2 + 2R_{н}R_{ср} + R_{ср}^2,$$

или

$$R_{ср}^2 - \frac{2R_{н}R_{ср}}{k^2 - 1} + X^2 = \frac{R_{н}^2}{k^2 - 1}.$$

Прибавив к левой и правой частям равенства величину $\frac{R_н^2}{(k^2-1)^2}$ получим:

$$\left(R_{ср}-\frac{R_н}{k^2-1}\right)^2+X^2=\frac{R_н^2k^2}{(k^2-1)^2}. \qquad (П\text{-}7\text{-}2)$$

Известно, что уравнение окружности в прямоугольных координатах с переменными координатами R и X, координатами центра R_0 и X_0 и радиусом r имеет вид:

$$(R-R_0)^2+(X-X_0)^2=r^2.$$

Из сравнения последнего выражения с равенством (П-7-2) следует, что (П-7-2) также является уравнением окружности, у которой координаты центра и радиус равны:

$$R_0=\frac{R_н}{k^2-1};\quad r=\frac{R_нk}{k^2-1}=R_0k.$$

Подставляя значение k, получим:

$$R_0=\frac{R_нw_т^2}{\left(w_н-\frac{Aw_{ср}R_н}{U_{л.ср}}\right)^2-w_т^2}, \qquad (П\text{-}7\text{-}3)$$

$$X_0=0; \qquad (П\text{-}7\text{-}4)$$

$$r=R_0\left(\frac{w_н}{w_т}-\frac{Aw_{ср}R_н}{w_тU_{л.ср}}\right). \qquad (П\,7\text{-}5)$$

Центр окружности характеристики реле смещен на величину R_0 по оси R от центра координат R и jX.

Подставляя в выражения (П-7-3) и (П-7-5) соответствующие данные для реле 1ПР1 (см. табл. П-1-1): $Aw_{ср}=28$; $w_н=11\,000$; $w_т=1\,400$; $R_н=R_р+2R_п=1\,250+2\cdot20=1\,290$ *ом*; $U_{л.ср}=13$ *в*, где $R_р=1\,250$ *ом* — сопротивление обмотки напряжения реле;

$R_п=20$ *ом* — прямое сопротивление одного диода;

$U_{л.ср}=13$ *в* — напряжение на первичной обмотке трансформатора ЗТИ при токе $I_{B0}=30$ *а* в режиме одностороннего питания,

получим:

$$R_0=41{,}3\ ом;\ r=240\ ом;$$

На рис. 1-15 по найденным значениям R_0 и r построена характеристика реле $z_{ср}=f(\varphi)$. Из рис. 1-15 следует, что при $\varphi_1=0°$ $z_{ср}=280$ *ом* и при $\varphi_2=-90°$ $z_{ср}=235$ *ом*. Сопротивление срабатывания реле, приведенное к вторичной обмотке трансформатора

3ТИ, коэффициент трансформации которого равен 3, соответственно составит:

$$\text{при } \varphi_1 = 0° \qquad z'_{ср} = 280 \cdot 3^2 = 2\,520 \text{ ом};$$

$$\text{при } \varphi_2 = -90° \quad z'_{ср} = 235 \cdot 3^2 = 2\,115 \text{ ом}.$$

Из выражений (П-7-3) и (П-7-5) следует, что величина сопротивления срабатывания реле *1ПР1* зависит от напряжения $U_{л.ср}$, подаваемого на его цепь напряжения. При напряжении $U_{л.ср}$ меньшем, чем 13 *в*, центр окружности перемещается вправо, а ее радиус увеличивается. При напряжениях, превышающих 13 *в*, центр окружности перемещается влево, а ее радиус уменьшается. При зажигании стабилизаторов напряжения напряжение в схеме защиты, а следовательно, и сопротивление срабатывания реле стабилизируются.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 2

Глава первая. **Описание защиты**

1-1. Основные принципы 3
1-2. Конструктивное исполнение 5
1-3. Комбинированный фильтр тока *1ТФ*, *1R1 — 1R4* 14
1-4. Промежуточный трансформатор *1ТП* 17
1-5. Стабилизаторы напряжения *1СТ1* и *1СТ2* 17
1-6. Дифференциальное реле *1ПР1* и выпрямительные мосты *1МВ1* и *1МВ2* 18
1-7. Конденсаторы *1С1*, *1С2* и *1С5* 23
1-8. Выходное реле *1РП* 24
1-9. Указательные реле *4РУ*, *5РУ*, *6РУ* и *7РУ* 24
1-10. Реле тока нулевой последовательности *8РТ* 25
1-11. Изолирующий трансформатор *3ТИ* и разделительный конденсатор *3С1* 25
1-12. Автоматический контроль исправности вспомогательных проводов 26
1-13. Устройство питания цепей контроля и измерения изоляции 27
1-14. Вспомогательные провода защиты 29
1-15. Поведение защиты в нормальном режиме и при повреждениях в системе 31
1-16. Основные технические данные защиты 38

Глава вторая. **Типовые испытания защиты**

2-1. Назначение и программа типовых испытаний 41
2-2. Проверка и испытание комбинированного фильтра 42
2-3. Проверка промежуточного трансформатора *1ТП* 48
2-4. Проверка газонаполненных стабилизаторов напряжения *1СТ1* и *1СТ2* 51

2-5. Испытание дифференциального реле *1ПР1* 51
2-6. Проверка выпрямительных мостов *1МВ1* и *1МВ2* 54
2-7. Проверка конденсаторов *1С1* и *1С2* 54
2-8. Проверка добавочных сопротивлений *1R5*, *1R8* 55
2-9. Проверка изолирующего трансформатора *3ТИ* 55
2-10. Проверка выходного реле *1РП* 57
2-11. Проверка элементов устройства питания цепей контроля и измерения изоляции 59
2-12. Проверка поляризованного реле *1ПР2* 59
2-13. Проверка поляризованного реле *2ПР1* 60
2-14. Проверка стабилизированного трансформатора *2ТН* . . . 61
2-15. Испытание дросселя *2Д* 62
2-16. Измерение сопротивлений *2R1—2R5* 63
2-17. Проверка емкости конденсаторов *2С2* и *2С3* 63
2-18. Проверка германиевых диодов *2ДГ1*, *2ДГ2* и выпрямительного моста *2МВ* 63
2-19. Определение максимального сопротивления изоляции вспомогательных проводов, при котором срабатывает реле *2ПР1* 64
2-20. Градуировка микроамперметра *2Г* 65
2-21. Проверка пределов регулирования тока контроля потенциометром *2R4* 66
2-22. Проверка стабилизации вторичного напряжения трансформатора *2ТН* 66
2-23. Определение зависимости $R_{2ср} = f(I_{B0})$ для полукомплекта защиты 67
2-24. Программа типовых испытаний защиты 68
2-25. Схема испытания и проверка ее 69
2-26. Зависимость тока срабатывания защиты от сопротивления и емкости вспомогательных проводов 72
2-27. Зависимость тока срабатывания защиты от вида короткого замыкания и уставки k 73
2-28. Измерение времени действия защиты в режиме одностороннего питания 73
2-29. Зависимость тока срабатывания защиты от величины h . . 75
2-30. Определение минимального тока контроля, при котором прекращается вибрация реле *1ПР2* 76
2-31. Определение чувствительности защиты в режиме двустороннего питания и короткого замыкания в зоне защиты . 76
2-32. Измерение времени действия защиты в режиме двустороннего питания 77
2-33. Испытание защиты в режиме внешних коротких замыканий 77
2-34. Проверка поведения защиты при однократных обрывах вспомогательных проводов 80
2-35. Проверка поведения защиты при многократных кратковременных обрывах вспомогательных проводов 81
2-36. Проверка поведения защиты и реле *1ПР2* при замыкании между проводами 81
2-37. Измерение времени возврата реле *1ПР2* при снятии напряжения переменного тока 82
2-38. Измерение мощности, потребляемой защитой в цепях тока 83

Глава третья. Эксплуатационная проверка и наладка защиты при первом включении

3-1. Общие указания 83
3-2. Программа и объем проверки 84
3-3. Проверка трансформаторов тока, токовых цепей, цепей напряжения и оперативного тока защиты 84
3-4. Внешний осмотр, проверка монтажа, механической части реле, аппаратов защиты и контроля вспомогательных проводов 85
3-5. Проверка сопротивления и испытание электрической прочности изоляции реле, вспомогательных устройств и всех соединений защиты 86
3-6. Измерение сопротивления и емкости вспомогательных проводов защиты 86
3-7. Проверка и настройка реле и вспомогательных устройств 86
3-8. Регулировка поляризованных реле 88
3-9. Регулировка уставок защиты и проверка фильтра тока . . 89
3-10. Проверка и наладка устройства автоматического контроля вспомогательных проводов защиты 90
3-11. Проверка селективности защиты и идентичности обоих полукомплектов 91
3-12. Проверка взаимодействия реле и других элементов в полной схеме защиты 92
3-13. Проверка защиты током нагрузки линии 93

Глава четвертая. Эксплуатационная проверка защиты ДЗЛ-1

Приложение П-1. Основные технические данные элементов защиты ДЗЛ-1 96
Приложение П-2. Паспорт-протокол эксплуатационной проверки и наладки продольной дифференциальной защиты линий ДЗЛ-1 100
Приложение П-3. Расчет и выбор уставок продольной дифференциальной защиты линий ДЗЛ-1 109
Приложение П-4. Примерная инструкция по эксплуатации продольной дифференциальной защиты линий ДЗЛ-1 113
Приложение П-5. Список приборов, необходимых для испытания и наладки защиты ДЗЛ-1 115
Приложение П-6. Опросный лист для заказа продольной дифференциальной защиты линий ДЗЛ-1 115
Приложение П-7. Вывод выражения, определяющего сопротивление срабатывания реле *ИПР1* 116

Редактор *И. И. Бронштейн* **Техн. редактор** *М. М. Широкова*

Сдано в набор 25/I 1962 г. **Подписано к печати** 28/VI 1962 г.
Т-07715 **Бумага** 84×108¹/₃₂ 6,15 п. л. Уч.-изд. л. 7,5
Тираж 8 300 экз. Подписное издание Заказ 2059

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

gost.e-ecolog.ru