

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ
с использованием микропроцессорного устройства
РС83-ДТ2**

Методические указания
для дипломного проектирования защит трансформаторов
раздела «Релейная защита»
для студентов направления 140200 (специальность 140211)

Курган 2010

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Релейная защита систем электроснабжения»
(направление 140200, специальность 140211)

Составили: доцент Д.Н. Шестаков,
ассистент С.Ю. Помялов

Утверждены на заседании кафедры «22» декабря 2009 г.

Рекомендованы методическим советом университета
«24» декабря 2009 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие сведения о защитах трансформатора	4
1.1	Устройства релейной защиты от повреждения трансформаторов	4
1.2	Устройства релейной защиты от ненормальных режимов работы трансформатора	10
2	Сведения о микропроцессорном устройстве РС83-ДТ2	11
2.1	Описание устройства РС83-ДТ2	11
2.2	Назначение устройства РС83-ДТ2	12
2.3	Конструкция устройства РС83-ДТ2	12
2.4	Описание работы устройства РС83-ДТ2	15
2.5	Технические характеристики устройства типа РС83-ДТ2	18
2.6	Уставки и программирование устройства РС83-ДТ2	21
3	Пример расчёта и выбора уставок защиты трансформатора с применением устройства РС83-ДТ2	23
3.1	Исходные данные для расчёта уставок защиты трансформатора с применением устройства РС83-ДТ2	23
3.2	Расчёт уставок дифференциальной защиты трансформатора	25
3.3	Расчёт уставок токовой отсечки (МТЗ 1) защиты трансформатора	29
3.4	Расчёт уставок максимальной токовой защиты (МТЗ 2) трансформатора	31
3.5	Расчёт уставок защиты от перегрузки (МТЗ 3) трансформатора	32
3.6	Газовая защита трансформатора	34
4	Подключение устройства РС83-ДТ2	35
	Список литературы	43

Настоящие методические указания предназначены для проектирования защит трансформаторов при выполнении раздела «Релейная защита» дипломного проекта для студентов направления 140200 (специальность 140211).

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЩИТАХ ТРАНСФОРМАТОРА

Для силовых трансформаторов предусматривается релейная защита от повреждений и ненормальных режимов работы.

К повреждениям относят:

- многофазные КЗ в обмотках и на выводах трансформатора;
- однофазные КЗ на землю в обмотках и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;

- витковые замыкания в обмотках;

К ненормальным режимам относят:

- прохождение сверхтоков в обмотках при внешних КЗ;
- прохождение сверхтоков при перегрузках трансформатора;
- понижение уровня масла в маслонаполненных трансформаторах.

1.1 Устройства релейной защиты от повреждения трансформаторов

ПУЭ и соответствующая нормативная документация по релейной защите определяют виды и объем защиты в зависимости от типа трансформатора и места его установки.

1.1.1 Дифференциальная защита

Дифференциальная защита устанавливается на одиночно работающих трансформаторах мощностью 6300 кВ·А и выше; на параллельно работающих трансформаторах мощностью 4000 кВ·А и выше; а также на трансформаторах мощностью 1000 кВ·А и выше, если токовая отсечка не обеспечивает достаточной чувствительности ($k_{\text{ч}} < 2$), а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с.

Дифференциальные защиты выполняют в виде: дифференциальной токовой отсечки; дифференциальной токовой защиты с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока, дифференциальной токовой защиты с реле, имеющими торможение.

Для защиты трансформаторов мощностью 6300 кВ·А и выше от междуфазных замыканий, витковых и замыканий на землю используют дифференциальную токовую защиту, действующую без выдержки времени на отключение всех выключателей трансформаторов.

Принцип действия дифференциальной защиты подробно описан в [1-3] и основан на сравнении величин и направлении токов до и после защищаемого трансформатора. Распределение токов по цепям защиты при КЗ в трансформаторе и вне него продемонстрировано на рисунке 1.1.

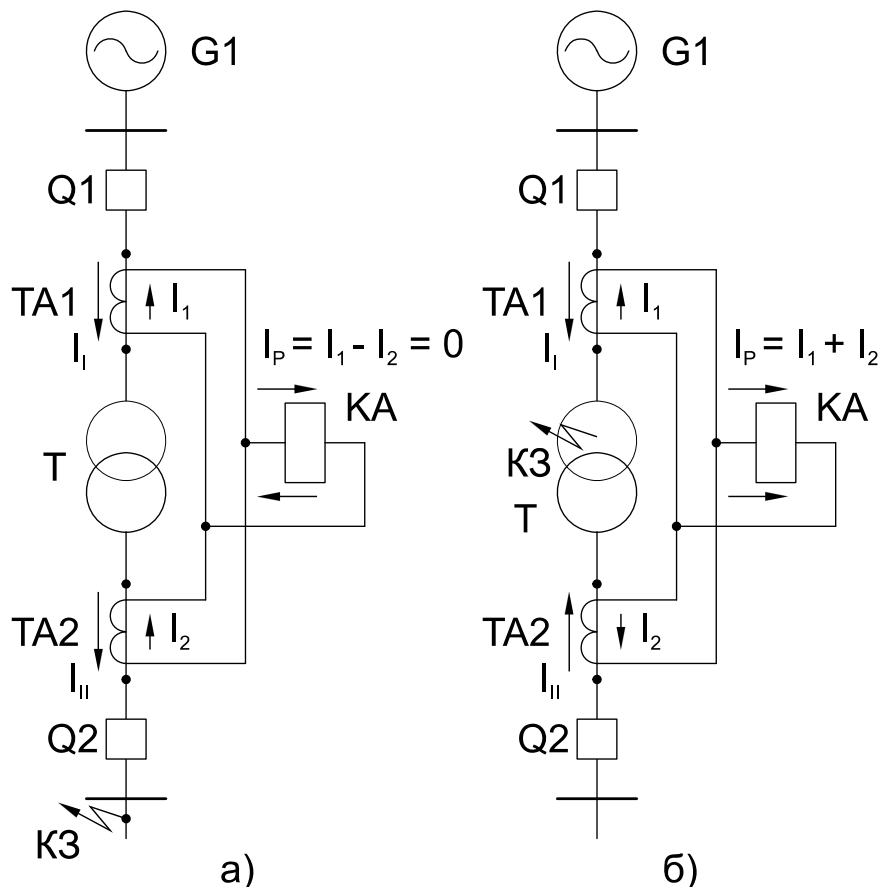


Рисунок 1.1 - Распределение токов по цепям защиты: а) при внешнем КЗ на шинах низшего напряжения; б) при КЗ в трансформаторе

При проектировании защиты необходимо выполнить уравновешивание вторичных токов в плечах защиты так, чтобы ток в реле отсутствовал и дифференциальная защита не работала при нагрузке и внешних КЗ (рисунок 1а). При повреждении в трансформаторе (рисунок 1б), ток в реле превысит уставку защиты – реле сработает и отключит трансформатор.

Расчет продольной дифференциальной защиты трансформаторов следует выполнять с учетом некоторых особенностей, влияющих на ее выполнение и надежную работу.

Поскольку у трансформаторов величины токов обмоток высшего, среднего и низшего напряжений не равны, то трансформаторы тока, выбираемые по номинальным токам обмоток, имеют различные коэффициенты трансформации и конструктивное исполнение. Вследствие этого различны их характеристики и погрешности.

Номинальные токи трансформаторов, как правило, не совпадают с номинальными токами трансформаторов тока выпускаемых промышленностью. Номинальный ток трансформаторов тока выбирается большим по отношению к величине номинального тока защищаемого трансформатора. Это вызывает дополнительный ток небаланса в реле, от которого необходимо отстроить защиту.

При сквозном КЗ ток небаланса в реле возрастает пропорционально току КЗ, а также вследствие возрастания погрешностей ТТ с неодинаковыми харак-

теристиками, что может вызвать ложное срабатывание дифференциальной защиты.

Таким образом, для снижения тока небаланса, вызванного неравенством вторичных токов ТТ дифференциальной защиты, необходимо выравнивание этих токов, что достигается использованием уравнительных обмоток дифференциальных реле с промежуточными трансформаторами в реле типа РНТ-565, ДЗТ-11 или применением коэффициентов выравнивания для разных сторон трансформатора в современных микропроцессорных защитах.

Кроме этого, рассмотренное выше выравнивание этих токов справедливо только для трансформаторов, имеющих одинаковое соединение обмоток: звезда – звезда или треугольник – треугольник. При различном соединении обмоток указанное выравнивание токов несправедливо, так как токи со стороны обмотки, соединенной в звезду, и токи со стороны «треугольника» оказываются сдвинутыми относительно друг друга на некоторый угол, величина которого зависит от схемы соединения обмоток. Угловой сдвиг токов создает большие токи небаланса в реле дифференциальной защиты.

Для компенсации углового сдвига вторичных токов, вторичные обмотки трансформаторов тока должны соединяться по схеме, противоположной схеме соединения обмоток силового трансформатора.

Распределение токов в нагрузочном режиме по вторичным обмоткам трансформаторов тока и векторные диаграммы поясняющие принцип компенсации углового сдвига вторичных токов в цепях защиты представлены на рисунке 1.2.

Определение параметров настройки (уставок) и чувствительности продольной дифференциальной защиты понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ выполняется в соответствии с принятым типом реле и подробно описан в указаниях по релейной защите [4].

Чувствительность дифференциальной защиты проверяется при КЗ на выводах низшего (среднего и низшего) напряжения трансформатора с учетом влияния тока, протекающего в реле; регулирования напряжения (РПН) при работе устройств автоматического регулирования коэффициента трансформации.

В соответствии с ПУЭ коэффициент чувствительности дифференциальной защиты должен быть не менее 2.

Для защиты используются дифференциальные реле разных типов с торможением и без. Выбор типа реле определяется требованиями чувствительности защиты.

Если защита с реле без торможения не обеспечивает коэффициент чувствительности более 2, то используют дифференциальную защиту с торможением. Тормозная обмотка дифференциального реле, как правило, подключается к трансформаторам тока, установленным на стороне низшего (среднего и низшего) напряжения трансформатора, что обеспечивает отсутствие торможения при КЗ в защищаемой зоне.

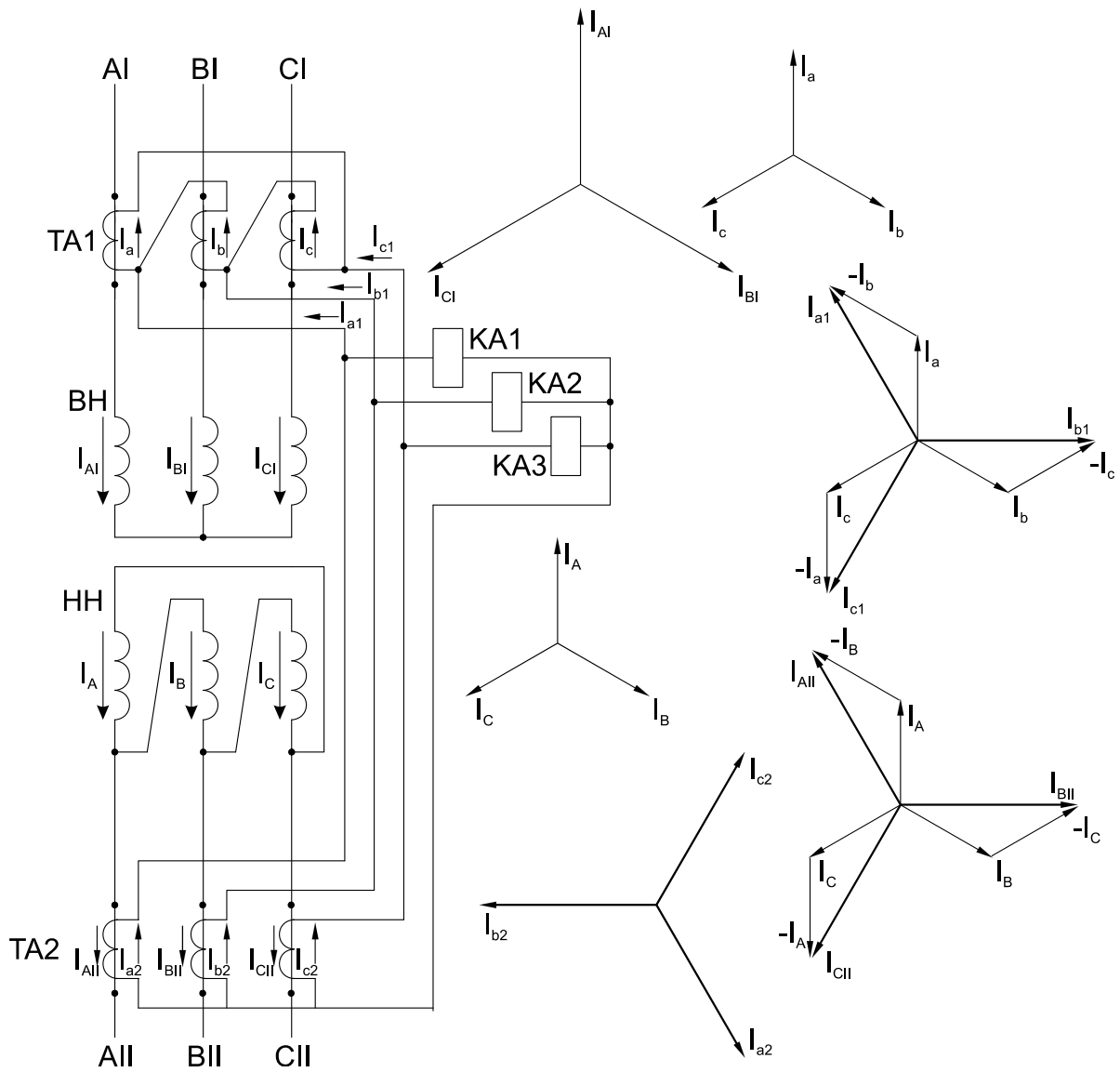


Рисунок 1.2 - Распределение токов в нагрузочном режиме по вторичным обмоткам трансформаторов тока и векторные диаграммы токов в цепях защиты

1.1.2 Газовая защита

Газовая защита устанавливается на трансформаторах, автотрансформаторах, преобразовательных агрегатах и реакторах с масляным охлаждением, имеющих расширители.

Газовая защита получила широкое применение в качестве чувствительной при возникновении внутренних повреждений (межвитковых замыканиях), сопровождаемых электрической дугой или нагревом деталей, что приводит к разложению масла, изоляционных материалов и образованию летучих газов.

Интенсивность газообразования и химический состав газа зависят от характера и размеров повреждения. Поэтому защита выполняется так, чтобы при медленном газообразовании подавался предупредительный сигнал, при бурном газовыделении, происходящем при КЗ, – сигнал на отключение трансформато-

ра. Помимо этого, газовая защита реагирует на понижение уровня масла в баке трансформатора.

Опасным внутренним повреждением является «пожар стали» магнитопровода, возникающий при нарушении изоляции между листами стали сердечника, что ведёт к увеличению потерь на гистерезис и вихревые токи.

Газовая защита обязательно устанавливается на трансформаторах мощностью 6300 кВ·А и выше, а также на трансформаторах 1000 – 4000 кВ·А, не имеющих дифференциальной защиты или отсечки и если МТЗ имеет выдержку времени более 1 секунды. При наличии быстродействующих защит её применение допускается. На внутрицеховых трансформаторах мощностью 630 кВ·А и выше газовая защита обязательна к применению, независимо от наличия других быстродействующих защит.

1.1.3 Токовая отсечка

Для защиты трансформаторов мощностью менее 6300 кВ·А, работающих одиночно, и трансформаторов мощностью менее 4000 кВ·А, работающих параллельно, устанавливается токовая отсечка, принцип действия которой рассмотрен в [5, 6].

Токовая отсечка устанавливается со стороны источника и получает питание как правило от тех же трансформаторов тока, что и максимальная токовая защита от внешних КЗ. На рисунке 1.3 указано расположение токовой отсечки и точки повреждения, в которых необходимо знать токи КЗ для расчета уставок защиты.

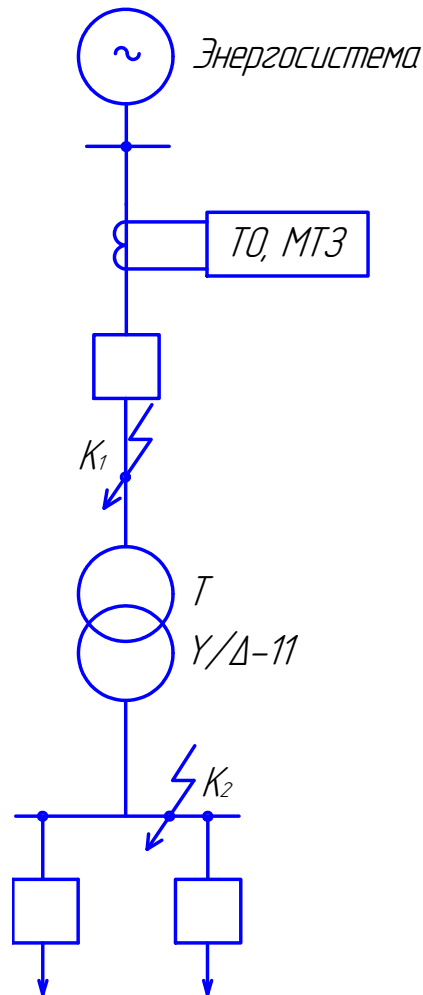


Рисунок 1.3 - Расположение точек КЗ для расчета уставок максимальной токовой защиты и токовой отсечки

Если токовая отсечка устанавливается на трансформаторах в сети с большими токами замыкания на землю (сеть с глухозаземленной нейтралью трансформаторов), то выполняется она в трех релейном исполнении.

Уставка тока срабатывания токовой отсечки определяется из условия не срабатывания при повреждениях на отходящих линиях, со стороны нагрузки за трансформатором, по следующему выражению:

$$I_{ТО} \geq k_{ОТС} \cdot I_{КЗ.маx}^{(3)} \quad (1.1)$$

где $k_{ОТС}$ – коэффициент отстройки защиты (1,3 – 1,4);

$I_{КЗ.маx}^{(3)}$ – максимальное значение периодической составляющей тока в месте установки защиты при трехфазном КЗ на стороне низшего напряжения (в точке K_2 на рисунке 1.3.).

Чувствительность отсечки проверяется по выражению:

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ.мин}^{(2)}}{I_{ср.ТО}} \quad (1.2)$$

где $I_{K3.min}^{(2)}$ – минимальный ток двухфазного КЗ в точке K_1 (на рис.1.3.) со стороны источника питания.

По известному значению тока трехфазного КЗ, ток двухфазного КЗ определяется по следующей формуле:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)}, \quad (1.3)$$

где $I_{K3}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания.

Согласно ПУЭ коэффициент чувствительности токовой отсечки ($k_{\text{ч}}$) при двухфазном КЗ в точке K_1 должен быть не менее 2, если же он меньше 2, то в этом случае токовая отсечка может использоваться только в качестве резервной защиты.

Если уставка токовой отсечки выбрана по формуле (1.1), то токовая отсечка будет действовать только при повреждениях в трансформаторе и поэтому может быть выполнена без выдержки времени.

1.2 Устройства релейной защиты от ненормальных режимов работы трансформатора

1.2.1 Токовая защита от сверхтоков при внешних многофазных коротких замыканиях

В качестве защиты трансформаторов от внешних токов КЗ максимальная токовая защита, которая устанавливается: на двухобмоточных трансформаторах – со стороны источника питания, а на трехобмоточных – со всех сторон трансформатора.

Максимальная токовая защита служит для отключения питания внешних многофазных КЗ при отказе выключателя смежного поврежденного элемента или его защиты, а также использоваться как резервная по отношению к основным собственным защитам трансформатора.

На трансформаторах мощностью менее 1000 кВ·А предусматривается максимальная токовая защита, действующая на отключение. Она же вместе с токовой отсечкой является основной защитой трансформатора. На трансформаторах мощностью более 1000 кВ·А должна быть предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пусковым органом напряжения или без него, принцип действия которой рассмотрен в [5, 6].

Ток срабатывания максимальной токовой защиты от внешних КЗ отстраивается от максимального тока нагрузки по выражению:

$$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{k_{\text{ОТС}} \cdot k_{\text{ЗАП}}}{k_{\text{В}}} \cdot I_{\text{НАГР.max}}, \quad (1.4)$$

где $k_{\text{ОТС}}$ – коэффициент отстройки защиты (1,1 – 1,2);
 $k_{\text{ЗАП}}$ – коэффициент самозапуска двигателей;
 $k_{\text{В}}$ – коэффициент возврата токового реле;
 $I_{\text{НАГР.max}}$ – наибольшее значение тока нагрузки трансформатора.

Согласно ПУЭ максимальная токовая защита должна иметь коэффициент чувствительности более 1,5 при двухфазном КЗ в точке K_2 указанной на рисунке 1.3.

1.2.2 Токовая защита от перегрузок

Защита от перегрузки предусмотрена на трансформаторах мощностью 400 кВ·А и более. Перегрузка обычно является симметричной, поэтому защиту от перегрузки выполняют одним реле тока, включенным в цепь одного из трансформаторов тока, защиты от внешних коротких замыканий. Для отстройки от коротких замыканий и кратковременных перегрузок предусматривается реле времени. Защита действует на сигнал.

2 СВЕДЕНИЯ О МИКРОПРОЦЕССОРНОМ УСТРОЙСТВЕ РС83-ДТ2

2.1 Описание устройства РС83-ДТ2

Описание предназначено для ознакомления в учебных целях с принципом действия и техническими характеристиками устройства микропроцессорного РЗА типа РС83-ДТ2, поставляемого ООО «СИСТЕМЫ РЗА» Россия, г. Москва. Более подробная информация о применении устройства РС83-ДТ2 приведена в техническом описании [7].

Устройство РС83-ДТ2 – выполняет функции токовой защиты (в том числе дифференциальной) для двухобмоточных трансформаторов, синхронных компенсаторов, генераторов, электродвигателей.

Устройства предназначены для применения на новых и реконструируемых подстанциях распределительных сетей и промышленных предприятий, а также для замены старых устройств РЗА.

Функции устройства:

- трёхступенчатая максимально-токовая защита (МТЗ) с независимой выдержкой времени. Функция МТЗ подключается к трансформаторам тока высшей стороны силового трансформатора. Для ступеней МТЗ 1 или МТЗ 2 возможен выбор режима с блокировкой от броска намагничивающего тока (БНТ). При включенном задании «Блоки-

ровка от БНТ» ступень будет срабатывать только в том случае, если измеренное значение второй гармонической составляющей тока не превысит значение равное 15% первой гармонической составляющей.

- двухступенчатая дифференциальная защита. Первая ступень – чувствительная дифференциальная защита (ДТ) с функцией торможения, вторая ступень – дифференциальная отсечка (ДО).

2.2 Назначение устройства РС83-ДТ2

Устройство РС83-ДТ2 предназначено для использования в схемах РЗА электрических машин, трансформаторов для их защиты от коротких замыканий и от перегрузок, а также для управления выключателем и телемеханики присоединений

Питание устройства РС83-ДТ2 может осуществляться как от источника постоянного, так и от источника переменного оперативного тока. Дополнительно устройство РС83-ДТ2 имеет резервный источник питания, использующий энергию токовых цепей, от которого осуществляется питание защит в аварийных режимах. При питании устройств только от токовых цепей, устройства с номинальным током 5 А, работают стабильно начиная с 4 А, устройства с номинальным током 1 А – с 0,8 А. Время срабатывания защит при питании только от токовых цепей увеличивается на 0,15 с. Кратковременные провалы напряжения питания от номинального до нуля длительностью до 500 мс фильтруются и стабилизируются блоком питания.

2.3 Конструкция устройства РС83-ДТ2

Устройство изготовлено в прямоугольном металлическом корпусе, который состоит из основания и кожуха. Внутри устройство выполнено в виде единого блока, состоящего из 6-х плат, скрепленных между собой при помощи резьбовых стоек.

Устройство крепится на передние панели шкафов защит. Для крепления устройства используется выступ по периметру передней панели и специальные кронштейны на боковых стенках. На переднюю панель выведены светодиодные индикаторы, жидкокристаллический индикатор и кнопки управления. Внешний вид и размеры устройства РС83-ДТ2 показаны на рисунке 2.1.

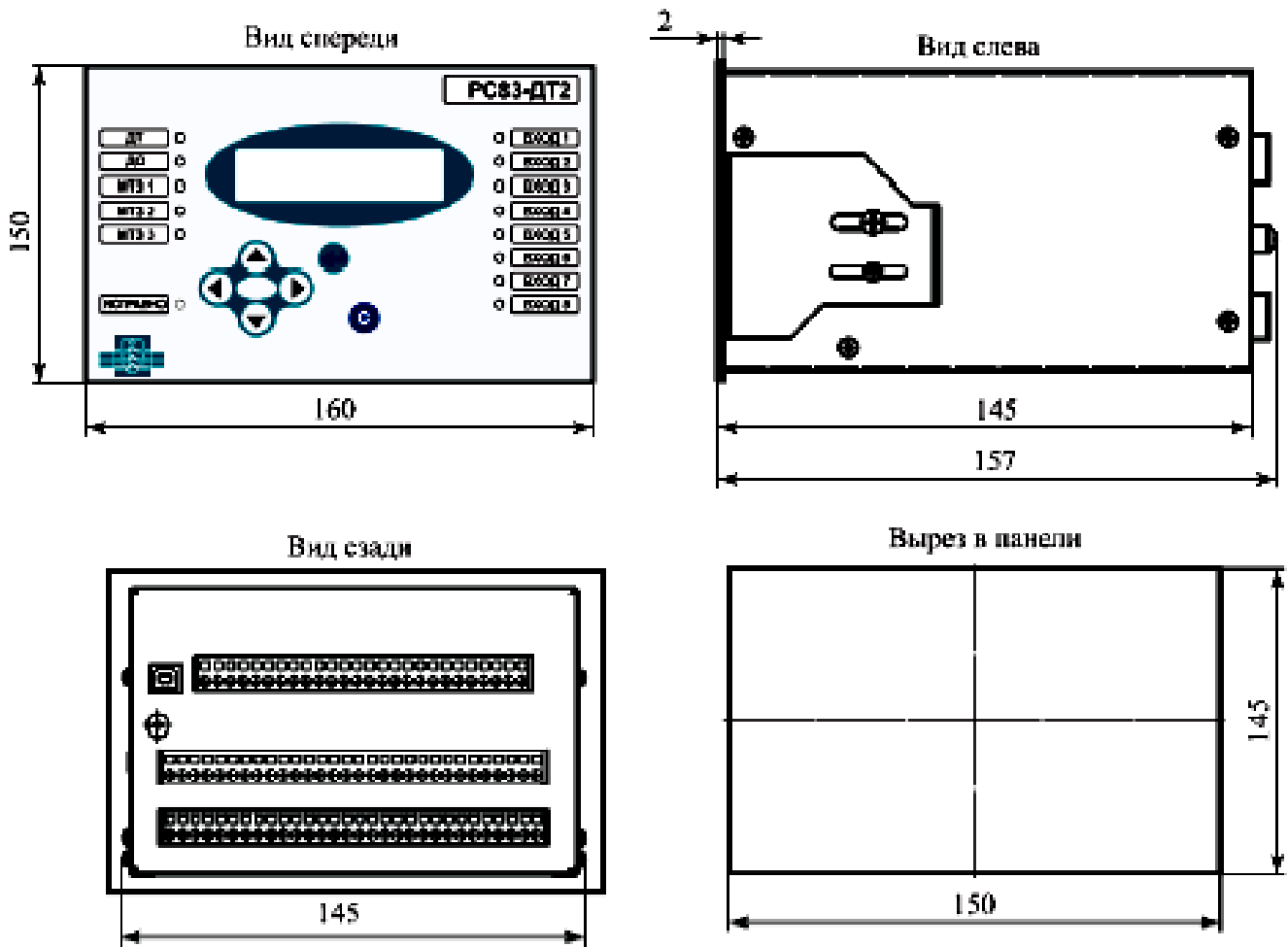


Рисунок 2.1 - Общий вид устройства РС83-ДТ2

На клеммных зажимах, расположенных на задней стенке, имеются токовые входы фаз. Для индикации токов в первичных величинах необходимо ввести уставки по соответствующим коэффициентам трансформации трансформаторов тока (ТТ). Устройства имеют встроенные входные согласующие ТТ, предназначенные в том числе и для гальванической развязки. На задней стенке также расположены клеммы дискретных входов и релейных выходов.

Устройство РС83-ДТ2 имеет восемь выходных реле:

Выходное реле К1 – срабатывание ДО и ДТ, МТЗ 1, МТЗ 2;

Выходное реле К2 – срабатывание МТЗ 2;

Выходное реле К3 – срабатывание МТЗ 3;

Выходное реле К4– выходное реле, действие которого назначается из меню;

Выходное реле К5– срабатывание ДО и ДТ, МТЗ 1, МТЗ 2;

Выходное реле К6 – срабатывание устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ);

Выходное реле К7 – выходное реле, действие которого назначается из меню;

Выходное реле К8– срабатывает при обнаружении неисправности устройства;

Устройство РС83-ДТ2 имеет 8 дискретных входов.

Дискретный вход DI 01 – используется для блокировки действия защит ДО, ДТ, МТЗ 1, МТЗ 2, МТЗ 3 по выбору из меню.

Дискретные входы DI 02 – DI 08 – Действие с памятью на светодиоды VD6 – VD12 с выдержкой времени 0-250 с без действия или с действием на выходное реле К4 или К7.

На лицевой панели устройства расположены светодиоды индикации состояния параметров:

VD1 – срабатывание ДТ Id> (ДТ);

VD2 – срабатывание ДО Id>> (ДО);

VD3 – срабатывание I> (МТЗ 1);







VD4 – срабатывание I>> (МТЗ 2);

VD5 – срабатывание I>>>(МТЗ 3);

VD6 – VD13 – срабатывание входов DI 01–DI 08 (ВХОД 1–8);

VD14 – устройство исправно (ИСПРАВНО).

Для связи с оператором служит лицевая панель, на которой размещены средства оперативного взаимодействия оператора с устройством защиты: клавиатура и жидкокристаллический индикатор.

Для выбора режимов работы и отображения информации, а также программирования устройства используются пять основных клавиш: для движения в меню в нужном направлении клавиши меню «ВПРАВО» , «ВЛЕВО» , «ВВЕРХ» , «ВНИЗ» ; клавиша «ВВОД»  производит ввод набранных данных; клавиша «СБРОС»  осуществляет редактирование, сброс уставок или параметров.

Для отображения информации во всех режимах работы устройства используется жидкокристаллический индикатор (2 строчки по 16 алфавитно-цифровых символов) с подсветкой, что позволяет считывать информацию при любой освещенности. В нормальном режиме индицируется ток нагрузки фазы «А» высшей стороны трансформатора; после срабатывания защиты – ток короткого замыкания. Подсветка включается на 1 минуту при нажатии любой клавиши управления.

Устройство изготавливается с регистратором на 100 событий (срабатываний защит), при этом запоминаются ток и время срабатывания. При записи 101-го события стирается информация о первом. В случае отключения питания часы не останавливаются и продолжают свой ход, получая питание от ионистора в течение не менее 1-х суток. При наличии дополнительной батарейки питания обеспечивается непрерывная работа в течение 365 дней при отсутствии напряжения питания.

Лицевая панель дает возможность пользователю передвигаться по меню для доступа к данным, изменять уставки и считывать измерения. Устройство сохраняет в памяти максимальный отключенный ток, который можно прочитать на дисплее. Для считывания сообщений пароль не требуется, однако любое изменение уставок может проводиться только после ввода пароля.

РС83-ДТ2 постоянно измеряет фазные токи и индицирует фактическое действующее значение тока вплоть до 10 гармоник.

Устройство может быть включено в локальную сеть посредством стандартного порта RS-485, расположенного на задней стенке. Протокол связи MODBUS RTU. Вся хранящаяся информация (измерения, сигнализации, параметры) может быть считана с помощью канала передачи информации.

Просмотреть и изменить уставки устройства можно через порт USB (расположенный на задней стенке) при помощи персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения.

Связь через порт RS-485 обеспечивает соединение с цифровой системой управления или RTU. Все имеющиеся данные в устройстве передаются диспетчеру и могут обрабатываться по месту или дистанционно.

2.4 Описание работы устройства РС83-ДТ2

2.4.1 Первая ступень дифференциальной защиты (чувствительная ДТ)

В дифференциальной защите чувствительной ступени используется геометрическая (с учетом фазы) разность токов одноименных фаз двух комплектов трансформаторов тока (всего 6 каналов аналогового измерения) для определения дифференциального тока срабатывания по каждой из трех фаз. Выравнивание токов по величине производится математически, введением коэффициента выравнивания. Выравнивание токов по фазе производится путем соответствующей сборки схемы токовых цепей дифференциальной защиты. Для защиты трансформатора со схемой соединения Y/Δ, со стороны Y трансформатора, трансформаторы тока должны собираться в Δ, а со стороны Δ – в Y. На четные и нечетные зажимы устройства должны подключаться однополярные, относительно трансформатора, зажимы трансформаторов тока.

Дифференциальный ток в реле определяется для каждой из трех фаз А, В и С как:

$$I_{д} = I1 \cdot K_{B1} - I2 \cdot K_{B2}, \quad (2.1)$$

где $I_{д}$ – определяемый дифференциальный ток в реле;

$I1$ – ток в реле со стороны ВН в ортогональных составляющих для первой гармоники;

$I2$ – ток в реле со стороны НН в ортогональных составляющих для первой гармоники;

K_{B1}, K_{B2} – коэффициенты выравнивания со стороны ВН и НН соответственно, которые изменяются от 0,1 до 5,0 с шагом 0,01.

При расчете $I1$ или $I2$ необходимо учитывать схему соединения трансформаторов тока, умножив токи со стороны, которая собрана в треугольник, на коэффициент схемы, равный $\sqrt{3}$.

В случае, если расчетный дифференциальный ток превысит значение уставки по току срабатывания ДТ, запускается таймер времени выдержки ДТ (при условии, что ток за все время выдержки не снизился ниже уставки срабатывания, если ток снизился ниже уставки срабатывания с учетом коэффициента возврата (0,95) таймер сбрасывается). По истечению времени работы у ДТ срабатывает и остается включенным на время превышения уставки по току выходное реле KL1 и KL5.

При срабатывании ступени ДТ включается и остается включенным до момента квитирования светодиод: VD1 – ДТ.

Чувствительная ступень дифференциальной защиты имеет торможение (увеличение уставки срабатывания) от тока со стороны НН. Тормозная характеристика чувствительной ступени дифзащиты начинается с тока торможения ($I_{\text{ТОРМ.}}$), который выбирается из меню устройства РС83-ДТ2. Вид тормозной характеристики приведен на рисунке 2.2.

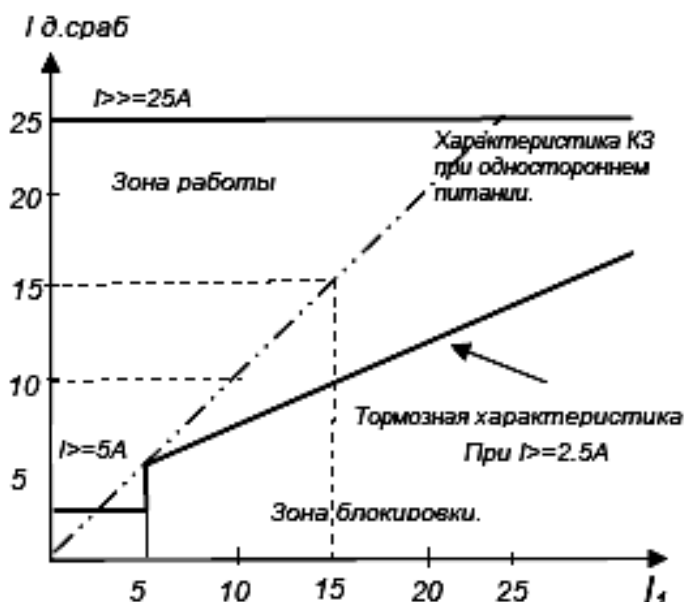


Рисунок 2.2 - Тормозная характеристика чувствительной ступени дифзащиты устройства РС83-ДТ2

До тока начала торможения ток срабатывания дифзащиты равен уставке (в данном случае 2,5 А на рисунке 2.2). Начиная с тока $I_{\text{ТОРМ.}}$ (на рисунке 2.2 – 5,0 А) вступает в действие тормозная характеристика, и ток срабатывания становится равным:

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{уст.}} + 0,5 \cdot I_1, \quad (2.2)$$

где $I_{\text{уст.}}$ – ток уставки дифференциального реле при отсутствии торможения;

0,5 – коэффициент торможения;

I_1 – ток торможения со стороны НН.

Чувствительная ступень дифзащиты имеет специальный встроенный фильтр и не отстраивается по величине тока от броска тока намагничивания, поэтому она должна быть отстроена по времени. Ток и выдержка времени определяются параметрами питающей сети и трансформатора и подбираются опытным путем при подаче напряжения на трансформатор от сети.

В первом приближении можно считать, что при токе срабатывания, равном 0,5 номинального тока трансформатора, выдержку времени необходимо установить порядка 0,20 с, а при токе срабатывания равном номинальному - порядка 0,10 с.

Специальный встроенный фильтр выделяет дифференциальные значения второй и пятой гармонической составляющих тока, и если они (по второй или по пятой гармонике) превышают значение от заданной уставки, то действие чувствительного органа блокируется. Если значение по току по второй или по пятой гармонике превысит значение от заданной уставки в момент, когда ступень запустилась (начался отсчет времени выдержки), то действие чувствительного органа не блокируется. Значение тока для блокировки задается из меню в % относительно первой гармоники (отдельно задавать на вторую и отдельно на пятую гармоники).

2.4.2 Вторая ступень дифференциальной защиты (ДО)

В дифференциальной защите грубой ступени используется геометрическая (с учетом фазы) разность токов одноименных фаз двух комплектов трансформаторов тока (всего 6 каналов аналогового измерения) для определения дифференциального тока срабатывания по каждой из трех фаз. Выравнивание токов по величине производится математически, введением коэффициента выравнивания. Выравнивание токов по фазе производится путем соответствующей сборки схемы токовых цепей дифференциальной защиты. Для защиты трансформатора со схемой соединения Y/Δ, со стороны Y трансформатора, трансформаторы тока должны собираться в Δ; а со стороны Δ – в Y. На четные и нечетные зажимы устройства должны подключаться однополярные, относительно трансформатора, зажимы трансформаторов тока.

Дифференциальный ток в реле для каждой из трех фаз А, В и С определяется по выражению:

$$I_{д} = I1 \cdot K_{B1} - I2 \cdot K_{B2}, \quad (2.3)$$

где $I_{д}$ – определяемый дифференциальный ток в реле;

$I1$ – ток в реле со стороны ВН в ортогональных составляющих для первой гармоники;

$I2$ – ток в реле со стороны НН в ортогональных составляющих для первой гармоники;

K_{B1}, K_{B2} – коэффициенты выравнивания со стороны ВН и НН соответственно, которые изменяются от 0,1 до 5,0 с шагом 0,01.

При расчете I1 или I2 необходимо учитывать схему соединения тока, умножив токи со стороны, которая собрана в треугольник, на коэффициент схемы, равный $\sqrt{3}$.

В случае, если расчетный дифференциальный ток превысит значение уставки по току срабатывания ДО, запускается таймер времени выдержки ДО (при условии что ток за все время выдержки не снизился ниже уставки срабатывания, если ток снизился ниже уставки срабатывания с учетом коэффициента возврата (0,95) таймер сбрасывается). По истечению времени работы у дифотсечки срабатывает и остается включенным на время превышения уставки по току выходное реле KL1 и KL5.

При срабатывании ступени ДО включается и остается включенным до момента квитирования соответствующий светодиод: VD2 – ДО.

Дифференциальная отсечка не отстраивается по времени от броска тока намагничивания трансформатора, и должна быть отстроена по току. Можно принять уставку по току равной $5 \cdot I_{\text{ном.т-ра}}$ при напряжении 35 кВ или $6 \cdot I_{\text{ном.т-ра}}$ – при напряжении 110кВ. Как и в случае дифзащиты, уставка дифотсечки должна быть проверена при подаче напряжения на ненагруженный трансформатор.

2.4.3 Максимально-токовая защита (МТЗ)

Трехфазная максимально-токовая защита (МТЗ) трехступенчатая с возможностью ввода\вывода ступеней путем изменения конфигурации.

Защита имеет независимую выдержку времени. Функция работает по измеренным токам на стороне ВН и действует каждая ступень на свое выходное реле.

В случае, если измеряемый фазный ток превысит значение уставки по току срабатывания активных ступеней МТЗ, запускается таймер времени выдержки соответствующей ступени МТЗ (при условии, что ток за все время пуска не снизился ниже уставки срабатывания, если ток снизился ниже уставки срабатывания с учетом коэффициента возврата (0,95), таймер сбрасывается). По истечению времени работы у МТЗ срабатывает и остается включенным на время превышения уставки по току соответствующее выходное реле.

При срабатывании ступени МТЗ включается и остается включенным до момента квитирования соответствующий каждой ступени светодиод.

Для ступеней МТЗ 1 или МТЗ 2 возможен выбор режима с блокировкой от броска намагничивающего тока (БНТ). При включенном задании «Блокировка от БНТ» ступень будет срабатывать только в том случае, если измеренное значение второй гармонической составляющей тока не превысит значение, равное 15% первой гармонической составляющей.

2.5 Технические характеристики устройства типа РС83-ДТ2

Диапазон выставяемых уставок защиты, напряжение питания, параметры входов и выходов устройства и другие технические характеристики устройства РС83-ДТ2 приведены в таблицах 2.1 – 2.9.

Таблица 2.1 - Параметры чувствительной дифференциальной защиты (ДТ) и дифференциальной отсечки (ДО) устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Диапазон уставок чувствительной ступени ДТ $I_{d>}$:	(0,5 ÷ 10,0)А, шаг 0,1А
Диапазон уставок времени срабатывания ДТ	(0,01 ÷ 1,0)с, шаг 0,01с
Диапазон уставок по току начала торможения	(0,5 ÷ 10,0)А, шаг 0,1А
Диапазон уставок грубой ступени ДО $I_{d>>}$:	(5 ÷ 60,0)А, шаг 1А
Диапазон уставок времени срабатывания ДО	10-1000 мс, шаг 1мс
Собственное время срабатывания при $I > 3I_{уст}$	<50 мс
Коэффициенты выравнивания k_1, k_2	0,1 ÷ 5,0 через 0,01
Коэффициент возврата	0,95

Таблица 2.2 - Параметры максимально-токовой защиты (МТЗ) устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Диапазон уставок токовых ступеней - $I>, I>>, I>>>$,	(2,0 ÷ 60)А, шаг 0,1А
Диапазон уставок выдержки времени t при $I/I_{уст} > 1$	(0,1 ÷ 25,0)с, шаг 0,1с
Собственное время срабатывания при $I > 3I_{уст}$	<50 мс
Коэффициент возврата	0,95

Таблица 2.3 - Напряжение питания устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Диапазон напряжения питания	(100 ÷ 250)В (~/=)
Допустимое время перерыва питания, не более	500 мс
Потребляемая мощность	3 Вт (3 ВА) + 0,25 Вт (0,25 ВА) на каждое сработавшее реле
Время готовности при питании от ТТ, не более	150 мс
Должно обеспечиваться питание только от трансформаторов тока двух фаз А и С начиная, от	2,5 А

Таблица 2.4 - Параметры измерительных входов устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Номинальный ток устройства	5 А
Ток фазы А	(0,1 ÷ 120,0)А
Ток фазы В	(0,1 ÷ 120,0)А
Ток фазы С	(0,1 ÷ 120,0)А
Термическая устойчивость цепей тока	$40 \times I_{ном}$ в течение 1с $2 \times I_{ном}$ длительно

Потребляемая мощность измерительных цепей тока	0,3 ВА/фазу (5 А)
Потребляемая мощность измерительных цепей тока + цепи питания от ТТ	2 ВА/фазу (5А)
Диапазон рабочей частоты	(45 ÷ 65) Гц;
Номинальная частота	50 Гц

Таблица 2.5 - Параметры дискретных входов устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Количество дискретных входов	Восемь(DI 01- DI 08)
Тип дискретных входов	Опто-развязка
Время распознавания	20 мс
Диапазон напряжения питания	Переменное напряжение, «1» - выше 0,6Uном «0» - ниже 0,45Uном; Постоянное напряжение, «1» - выше 0,72Uном «0» - ниже 0,5Uном
Потребляемая мощность	1,5 Вт на вход

Таблица 2.6 - Параметры выходных реле устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Количество выходных реле	Восемь(K1 - K8)
Устойчивость на замыкание (0,2с)	20А
Номинальный длительный ток контактов реле	6А
Разрывная способность контактов реле	250В (=), 0,15А (L/R=30мс) 220 В (~), 5А (cos φ =0,6)
Выход 1, 2, 4, 6, 7, 8	1 контакт
Выход 3, 5	2 контакта

Таблица 2.7 - Параметры последовательного интерфейса RS-485 устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Тип	Порт на задней панели реле, витая пара
	Изолированная, полудуплекс
Протокол	MODBUSTM RTU
Скорость передачи	1200 ÷ 115200 бод (программируется)

Таблица 2.8 - Точность измерения устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Измерения входных токов	не хуже 3%
Времени выдержки	не хуже 3%

Таблица 2.9 - Климатические условия применения устройства РС83-ДТ2

Наименование	Параметр
Температура хранения	- 40°С до +70°С
Температура работы	- 25°С до + 55 °С стандартно - 40°С до + 70 °С спец. исполнение
Относительная влажность	Не более 50% при 40°С

2.6 Уставки и программирование устройства РС83-ДТ2

Основные рекомендации по выбору уставок дифференциальной защиты устройства РС83-ДТ2 были приведены ранее.

Для отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформатора устройство снабжено фильтрами тока по второй и по пятой гармоникам. Рекомендуемая производителем уставка срабатывания – 20% от составляющей первой гармоники дифференциального тока.

Рассчитываются уставки:

- определяются коэффициенты выравнивания по току для каждой из сторон.

Для стороны ВН, где трансформаторы тока собираются в треугольник:

$$K_{B1} = \frac{I_{НОМ.ТТ.ВН}}{\sqrt{3} \cdot I_{НОМ.ТР.ВН}}, \quad (2.4)$$

где $I_{НОМ.ТТ.ВН}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока, установленного со стороны ВН трансформатора;

$I_{НОМ.ТР.ВН}$ – номинальный ток стороны ВН силового трансформатора.

Для стороны НН, где трансформаторы тока собраны в звезду:

$$K_{B2} = \frac{I_{НОМ.ТТ.НН}}{I_{НОМ.ТР.НН}}, \quad (2.5)$$

где $I_{НОМ.ТТ.НН}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока установленного, со стороны НН трансформатора;

$I_{НОМ.ТР.НН}$ – номинальный ток стороны НН силового трансформатора.

- выбирается ток и время срабатывания дифзащиты и дифотсечки.

В уставки по времени не входит собственное время срабатывания дифзащиты: порядка 0,05 с.

После выбора коэффициентов выравнивания по предыдущему пункту уставки по току определяются по формуле:

По стороне ВН:

$$I_{уст} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{ДТ}}{K_{В1}}, \quad (2.6)$$

где 5 – номинальный вторичный ток трансформаторов тока;

$I_{*CP}^{ДТ}$ – уставка дифзащиты в долях номинального тока трансформатора (принимается равным $0,5 \div 1,0$);

$K_{В1}$ – коэффициент выравнивания по току для ВН.

По стороне НН:

$$I_{уст} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{ДТ}}{K_{В2}}, \quad (2.7)$$

где $I_{*CP}^{ДТ}$ – уставка дифзащиты в долях номинального тока трансформатора (принимается равным $0,5 \div 1,0$);

$K_{В2}$ – коэффициент выравнивания по току для НН.

Грубая ступень дифзащиты отстраивается от броска тока намагничивания по величине уставки тока срабатывания. Для средних условий, ее ток срабатывания должен быть равен $(5 \div 6) \cdot I_{ном.т-ра}$. Вторичный ток срабатывания определяется по ранее приведенной формуле:

По стороне ВН:

$$I_{уст} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{ДО}}{K_{В1}}, \quad (2.8)$$

где $I_{*CP}^{ДО}$ – уставка дифзащиты в долях номинального тока трансформатора (принимается равным $5 \div 6$);

$K_{В1}$ – коэффициент выравнивания по току для ВН.

По стороне НН:

$$I_{уст} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{ДО}}{K_{В2}}, \quad (2.9)$$

где $I_{*CP}^{до}$ – уставка дифзащиты в долях номинального тока трансформатора (принимается равным $5 \div 6$);
 K_{B2} – коэффициент выравнивания по току для НН.

Тормозная характеристика выбирается исходя из условия отстройки от токов небаланса при внешнем КЗ и предельных условиях:

- погрешность ТТ: 10%;
- диапазон регулирования коэффициента напряжения трансформатором: 16%;
- погрешность за счет не выравнивания: 5%.

Итого: $K_T = 1,5 \cdot (0,10 + 0,16 + 0,05) = 0,465$.

В связи с этим тормозная характеристика в устройстве РС83-ДТ2 имеет постоянный коэффициент торможения равный 0,5.

Уставки МТЗ 1, 2 и 3 выбираются по обычным принципам для максимально-токовых защит, которые описаны выше в разделе 1.2 и подробно рассмотрены в [5, 6].

При этом в расчете уставок МТЗ 1, 2 и 3 следует принимать следующие параметры: коэффициент возврата реле – $k_B = 0,95$; коэффициент запаса для отстройки от тока нагрузки – $k_{отс} = 1,2$; коэффициент согласования с защитами предыдущих линий – $k_C = 1,1$.

Программирование и ввод уставок в РС83-ДТ2 производится с помощью кнопок и дисплея, расположенных на передней панели устройства.

3 ПРИМЕР РАСЧЕТА И ВЫБОРА УСТАВОК ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА РС83-ДТ2

3.1 Исходные данные для расчёта уставок защиты трансформатора с применением устройства РС83-ДТ2

Необходимо выбрать параметры настройки устройства РС83-ДТ2 для защиты трансформатора ТМН-6300/110, со схемой соединения обмоток Y/Δ-11:

- на стороне высшего напряжения – звезда;
- на стороне низшего напряжения – треугольник.

Номинальная мощность трансформатора – 6,3 МВ·А

Номинальное напряжение – 115 кВ/11 кВ.

Диапазон регулирования РПН $\pm 9,78\%$.

Максимальная нагрузка трансформатора – $S_{наг.макс} = 7000$ кВ·А.

Максимальное время защит линий, отходящих от шин НН трансформатора, $t_{макс} = 2,0$ с.

Токи короткого замыкания в максимальном и минимальном режиме работы энергосистемы на стороне 110 кВ (точка K_1) и шинах 10 кВ (точка K_2) приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Токи короткого замыкания для расчета уставок защит трансформатора

Расчетная точка КЗ	Режим энергосистемы	Ток КЗ
на стороне 110 кВ (K_1)	Максимальный	$I_{K1MAX}^{(3)BH} = 2656 \text{ А}$
	Минимальный	$I_{K1MIN}^{(3)BH} = 1976 \text{ А}$
на шинах 10 кВ (K_2)	Максимальный	$I_{K2MAX}^{(3)HH} = 2833 \text{ А}$
	Минимальный	$I_{K2MIN}^{(3)HH} = 2728 \text{ А}$

На рисунке 3.1 показано место установки защит трансформатора и точки повреждения, в которых необходимо знать токи КЗ для расчета уставок защит.

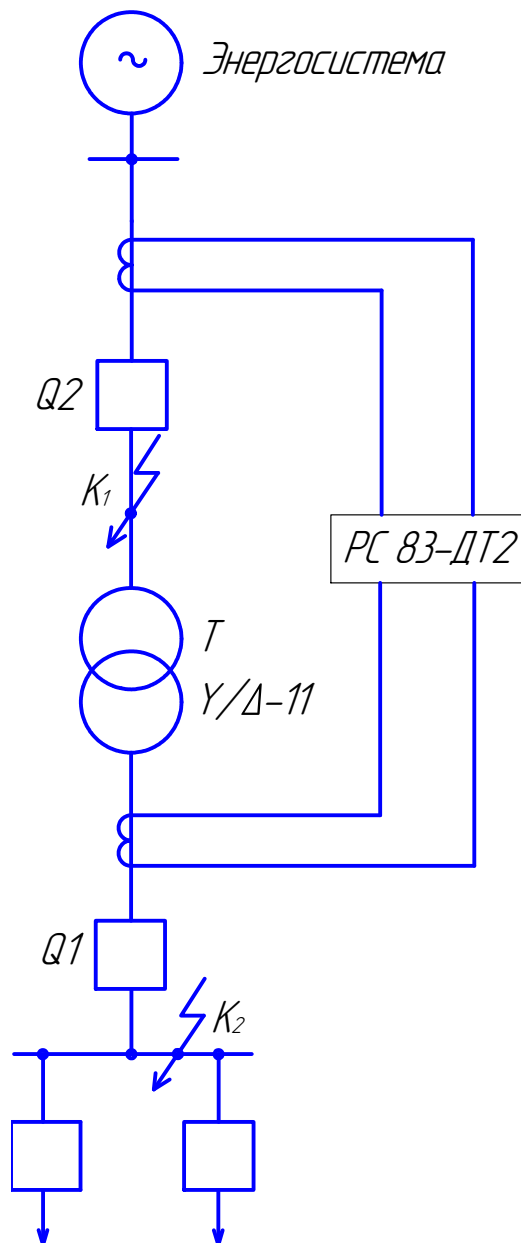


Рисунок 3.1 - Расположение точек КЗ для расчета уставок защит трансформатора

Так как защиты трансформатора подключены к трансформаторам тока, установленным на стороне высшего напряжения трансформатора, поэтому необходимо знать, какие токи протекают по ним при повреждении на шинах низшего напряжения. Приведение токов КЗ в точке К₂ к стороне ВН трансформатора выполняется по формуле:

$$I_{K2}^{(3)ВН} = \frac{I_{K2}^{(3)НН}}{k_T}, \quad (3.1)$$

где $I_{K2}^{(3)НН}$ – ток трехфазного короткого замыкания на шинах 10 кВ (в точке К₂);

k_T – коэффициент трансформации силового трансформатора равный отношению номинальных напряжений – 115 / 11 кВ. Он приводит значение тока короткого замыкания, найденного на ступени напряжения 10 кВ, к ступени напряжения 110 кВ.

По формуле (3.1) ток трехфазного короткого замыкания в максимальном режиме на шинах 10 кВ (точка К₂), приведенный к стороне ВН трансформатора, равен:

$$I_{K2MAX}^{(3)ВН} = \frac{I_{K2MAX}^{(3)НН}}{k_T} = \frac{2833}{115/11} = 271 \text{ А.}$$

По формуле (3.1) ток трехфазного короткого замыкания в минимальном режиме на шинах 10 кВ (точка К₂), приведенный к стороне ВН трансформатора, равен:

$$I_{K2MIN}^{(3)ВН} = \frac{I_{K2MIN}^{(3)НН}}{k_T} = \frac{2728}{115/11} = 261 \text{ А.}$$

Основные рекомендации по выбору уставок дифференциальной защиты были приведены ранее при описании особенностей дифзащиты в разделе 2.6.

Расчет уставок дифференциальной защиты трансформатора, токовой отсечки, максимальной токовой защита, а также расчет защиты от перегрузки выполняется в соответствии с методикой, изложенной в [4].

3.2 Расчёт уставок дифференциальной защиты трансформатора

Дифференциальная защита трансформатора выполнена с применением устройства РС83-ДТ2. Для выбора его параметров, сначала необходимо выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока, устанавливаемых на всех сторонах защищаемого трансформатора. Методика этого выбора приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Выбор трансформаторов тока на сторонах защищаемого трансформатора

Наименование величины	Численное значение для сторон	
	ВН/115кВ	НН/11кВ
Номинальный ток трансформатора ТМН-6300/110, А	$I_{н1ВН} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$ $I_{н1ВН} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31,6 \text{ А}$	$I_{н1НН} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном2}}$ $I_{н1НН} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 11} = 330,7 \text{ А}$
Схема соединения обмоток силового трансформатора	Y	Δ
Схема соединения трансформаторов тока	Δ	Y
Коэффициент схемы (K_{cx})	$\sqrt{3}$	1
Расчетный коэффициент трансформации трансформаторов тока	$K_{\Delta} = \frac{K_{cx} \cdot I_{н1ВН}}{5}$ $K_{\Delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot 31,6}{5} = \frac{54,7}{5}$	$K_Y = \frac{K_{cx} \cdot I_{н1НН}}{5}$ $K_Y = \frac{1 \cdot 330,7}{5} = \frac{330,7}{5}$
Принятый коэффициент трансформации трансформаторов тока	$K_{ТТ.ВН} = \frac{100}{5}$	$K_{ТТ.НН} = \frac{400}{5}$

При выборе тока срабатывания защиты необходимо обеспечить не действие защиты в двух режимах работы защищаемого трансформатора:

- при включении трансформатора только со стороны источника питания, когда в момент включения в питающей обмотке трансформатора появляются значительные броски тока намагничивания.

Для отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформатора устройство снабжено фильтрами тока по второй и по пятой гармоникам. Рекомендуемая производителем уставка срабатывания – 20% от составляющей первой гармоники дифференциального тока.

- при трехфазных К.З. вне зоны действия защиты (повреждение на шинах низшего напряжения), когда через трансформатор проходит максимальный сквозной ток внешнего короткого замыкания. Это обеспечивается использованием тормозной характеристики у реле РС83-ДТ2.

Тормозная характеристика имеет постоянный коэффициент торможения. Он выбран исходя из условия отстройки от токов небаланса при внешнем КЗ и предельных условиях:

- погрешность трансформаторов тока: 10%;
 - диапазон регулирования коэффициента РПН трансформатором: 16%;
 - погрешность за счет не точного выравнивания токов в плечах защиты: 5%.
- Итого: $K_t = 1,5 \cdot (0,10 + 0,16 + 0,05) = 0,465$.

Поэтому, как указывалось ранее в разделе 2.6, тормозная характеристика чувствительной ступени дифференциальной защиты устройства РС83-ДТ2 имеет постоянный коэффициент торможения, равный 0,5.

Ток начала торможения выбирается из соображений не действия торможения при номинальном токе нагрузки трансформатора. Так как трансформаторы тока стороны НН выбираются по номинальному току силового трансформатора, поэтому при токах нагрузки, меньших номинальных, в реле будет протекать вторичный ток менее 5 А. Для обеспечения не действия торможения от токов нагрузки можно принять ток начала торможения равный $I_{\text{торм.}} = 5,0$ А.

Рассчитываются уставки:

- определяются коэффициенты выравнивания по току для каждой из сторон.

Для стороны ВН, где трансформаторы тока собираются в треугольник, коэффициент выравнивания определяется по формуле (2.4) и равняется:

$$K_{\text{В1}} = \frac{I_{\text{НОМ.ТТ.ВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ.ТР.ВН}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 31,6} = 1,827, \text{ принимаем } K_{\text{В1}} = 1,83.$$

Для стороны НН, где трансформаторы тока собраны в звезду, коэффициент выравнивания определяется по формуле (2.5) и равняется:

$$K_{\text{В2}} = \frac{I_{\text{НОМ.ТТ.НН}}}{I_{\text{НОМ.ТР.НН}}} = \frac{400}{330,7} = 1,209, \text{ принимаем } K_{\text{В2}} = 1,21.$$

- выбирается ток срабатывания дифзащиты и дифотсечки.

Выбирается уставка чувствительной ступени дифзащиты в долях номинального тока трансформатора:

$$I_{*CP}^{\text{ДТ}} = 0,5 - 1,0 \text{ (в долях от номинального тока трансформатора).}$$

Для трансформатора мощностью 6,3 МВ·А уставку чувствительной ступени дифзащиты в долях номинального тока трансформатора примем $I_{*CP}^{\text{ДТ}} = 1,0$.

После выбора коэффициентов выравнивания уставки по току определяются по формулам (2.6 и 2.7):

$$I_{\text{УСТ.ВН}}^{\text{ДТ}} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{\text{ДТ}}}{K_{\text{В1}}} = \frac{5 \cdot 1,0}{1,83} = 2,73 \text{ А.}$$

Для обеспечения действительной уставки срабатывания защиты не менее выбранной ранее уставки необходимо принять ближайшую большую уставку которую можно выставить в устройстве РС83-ДТ2. Поэтому уставка тока срабатывания защиты по стороне ВН принимается $I_{\text{УСТ.ВН}}^{\text{ДТ}} = 2,8$ А.

$$I_{\text{УСТ.НН}}^{\text{ДТ}} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{\text{ДТ}}}{K_{\text{В2}}} = \frac{5 \cdot 1,0}{1,21} = 4,13 \text{ А.}$$

Из соображений, указанных ранее, уставка тока срабатывания защиты по стороне НН принимается $I_{уст.НН}^{ДГ} = 4,2 \text{ А}$.

Действительный ток срабатывания чувствительной ступени дифзащиты будет равен:

$$I_{СЗ.ВН}^{ДГ} = \frac{I_{уст.ВН}^{ДГ} \cdot K_{тг.ВН}}{K_{сх.ВН}} = \frac{2,8 \cdot 100 / 5}{\sqrt{3}} = 32,3 \text{ А}.$$

Проверим коэффициент чувствительности защиты при КЗ на стороне НН (в точке K_2) при отсутствии торможения по формуле (1.2).

По известному значению тока трехфазного КЗ в минимальном режиме в точке K_2 найдем ток двухфазного КЗ по формуле (1.3):

$$I_{K2\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2\min}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 261 = 226,0 \text{ А}.$$

$$k_{ч} = \frac{I_{K2\min}^{(2)}}{I_{СЗ.ВН}^{ДГ}} = \frac{226}{32,3} = 6,99 > 2.$$

Отсюда следует, что чувствительная ступень дифференциальной защиты устройства РС83-ДТ2 удовлетворяет требованиям по коэффициенту чувствительности.

Грубая ступень дифотсечки отстраивается от броска тока намагничивания по величине уставки тока срабатывания. Для средних условий ее ток срабатывания должен быть равен $(5 \div 6) \cdot I_{ном.т-ра}$.

Грубая ступень дифференциальной отсечки не отстраивается по времени от броска тока намагничивания трансформатора и должна быть отстроена по току. Можно принять уставку по току равной $5 \cdot I_{ном.т-ра}$ при напряжении 35 кВ или $6 \cdot I_{ном.т-ра}$ – при напряжении 110кВ.

Поэтому уставка грубой ступени дифотсечки в долях номинального тока трансформатора выбирается равной: $I_{*CP}^{ДО} = 6,0$.

Вторичный ток срабатывания определяется по ранее приведенной формуле:

$$I_{уст.ВН}^{ДО} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{ДО}}{K_{В1}} = \frac{5 \cdot 6,0}{1,83} = 16,39 \text{ А}.$$

По стороне ВН принимаем ближайшую большую уставку, которую можно выставить в устройстве РС83-ДТ2 – $I_{уст.ВН}^{ДО} = 17 \text{ А}$.

$$I_{уст.НН}^{ДО} = \frac{5 \cdot I_{*CP}^{ДО}}{K_{В2}} = \frac{5 \cdot 6,0}{1,21} = 24,79 \text{ А}.$$

По стороне НН принимаем ближайшую большую уставку, которую можно выставить в устройстве РС83-ДТ2 – $I_{уст.НН}^{ДО} = 25 \text{ А}$.

Действительный ток срабатывания грубой ступени дифотсечки будет равен:

$$I_{сз.ВН}^{ДО} = \frac{I_{уст.ВН}^{ДО} \cdot K_{тт.ВН}}{K_{сх.ВН}} = \frac{17 \cdot 100 / 5}{\sqrt{3}} = 196,3 \text{ А}.$$

Проверим коэффициент чувствительности дифотсечки при КЗ на стороне ВН (в точке K_1) по формуле (1.2).

По известному значению тока трехфазного КЗ в минимальном режиме в точке K_1 найдем ток двухфазного КЗ по формуле (1.3):

$$I_{K1\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1\min}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1976 = 1711,3 \text{ А}.$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{K1\min}^{(2)}}{I_{сз.ВН}^{ДО}} = \frac{1711,3}{196,3} = 8,72 > 2.$$

Отсюда следует, что грубая ступень дифотсечки устройства РС83-ДТ2 удовлетворяет требованиям по коэффициенту чувствительности.

- выбирается время срабатывания дифзащиты и дифотсечки.

В первом приближении можно считать, что при токе срабатывания, равном 0,5 номинального тока трансформатора, выдержку времени необходимо установить порядка 0,20 с, а при токе срабатывания, равном номинальному - порядка 0,10 с.

Поэтому уставку выдержки времени срабатывания дифзащиты и дифотсечки примем, равную 0,10 с.

3.3 Расчёт уставок токовой отсечки (МТЗ 1) защиты трансформатора

Токовая отсечка в трехфазном исполнении от всех видов коротких замыканий. Она отстраивается от максимального тока внешнего короткого замыкания по формуле (1.1). Ток внешнего короткого замыкания – это ток КЗ в точке K_2 , приведенный к стороне высшего напряжения, в нашем примере он равен: $I_{K2\max}^{(3)} = 271 \text{ А}$.

Тогда:

$$I_{\text{ТО}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{K2\max}^{(3)} = 1,3 \cdot 271 = 352,3 \text{ А},$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий ошибку в определении токов, и необходимый запас, принимаемый $k_{\text{отс}} = 1,3$.

Токовая отсечка выполняется по трехрелейной схеме с соединением трансформаторов тока в треугольник. Ток срабатывания реле токовой отсечки (МТЗ 1) равен:

$$I_{\text{ср.то}} \geq \frac{I_{\text{то}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{тт.вн}}} = \frac{352,3 \cdot \sqrt{3}}{100/5} = 30,51 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле токовой отсечки может изменяться от 2,0 до 60,0 А с шагом 0,1, поэтому за ток уставки токовой отсечки принимаем ближайший больший ток, который можно выставить в устройстве РС83-ДТ2.

Принимаем $I_{\text{ср.то}} = 30,6 \text{ А}$.

Далее необходимо рассчитать действительный ток срабатывания токовой отсечки по формуле:

$$I_{\text{то}} = \frac{I_{\text{ср.то}} \cdot K_{\text{тт.вн}}}{K_{\text{сх}}} = \frac{30,6 \cdot 100/5}{\sqrt{3}} = 353,3 \text{ А.}$$

Для проверки чувствительности необходимо знать двухфазный ток короткого замыкания на выводах 110 кВ трансформатора в минимальном режиме работы энергосистемы.

По известному значению тока трехфазного КЗ в минимальном режиме в точке K_1 найдем ток двухфазного КЗ по формуле (1.3):

$$I_{K1\text{min}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1\text{min}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1976 = 1711,3 \text{ А.}$$

Проверим коэффициент чувствительности токовой отсечки при КЗ на стороне ВН (в точке K_1) по формуле (1.2):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{K1\text{min}}^{(2)}}{I_{\text{с3.вн}}^{\text{до}}} = \frac{1711,3}{353,3} = 4,84 > 1,2.$$

Таким образом, выполняем резервную защиту трансформатора токовой отсечкой (МТЗ 1) с использованием устройства РС83-ДТ2.

- выбирается время срабатывания токовой отсечки.

Так как уставка токовой отсечки выбрана по формуле (1.1), то токовая отсечка будет действовать только при повреждениях в трансформаторе, и поэтому выдержка времени токовой отсечки принимается $t_{\text{то}} = 0,1 \text{ с}$.

3.4 Расчёт уставок максимальной токовой защиты (МТЗ 2) трансформатора

При расчете максимально-токовой защиты следует принимать следующие параметры: коэффициент возврата реле – $k_B = 0,95$; коэффициент запаса для отстройки тока нагрузки – $k_{отс} = 1,2$; коэффициент согласования с защитами предыдущих линий – $k_C = 1,1$, согласно [7].

МТЗ защищает от всех видов междуфазных коротких замыканий, для резервирования основных защит трансформатор устанавливается на стороне высшего напряжения и собирается по схеме треугольника. МТЗ отстраивается от максимального тока нагрузки, в максимальном режиме. Поэтому вычисляем максимальный ток нагрузки трансформатора по формуле:

$$I_{наг.ВН}^{max} = \frac{S_{наг.ВН}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ВН}}, \quad (3.2)$$

где $S_{наг.ВН}$ – максимальная нагрузка трансформатора, кВ·А;

$U_{ном.ВН}$ – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора, кВ.

$$I_{наг.ВН}^{max} = \frac{7000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 36,7 \text{ А.}$$

Тогда ток срабатывания МТЗ определяется по формуле (1.4) с учетом следующих коэффициентов: коэффициент отстройки $k_{отс} = 1,2$ согласно [7]; коэффициент самозапуска двигателей $k_{зап} = 1,5$ согласно [5]; коэффициент возврата МТЗ блока защит РС83-ДТ2 $k_B = 0,95$ согласно [7].

Ток срабатывания МТЗ 2 равен:

$$I_{МТЗ} \geq \frac{k_{отс} \cdot k_{зап}}{k_B} \cdot I_{наг.ВН}^{max} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,95} \cdot 36,7 = 69,54 \text{ А.}$$

Максимально-токовая защита подключена к тем же трансформаторам тока, что и токовая отсечка со схемой соединения в треугольник. Ток срабатывания реле максимальной-токовой защита (МТЗ 2) равен:

$$I_{ср.МТЗ} \geq \frac{I_{МТЗ} \cdot K_{сх}}{K_{тт.ВН}} = \frac{69,54 \cdot \sqrt{3}}{100 / 5} = 6,02 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле МТЗ 2 может изменяться от 2,0 до 60,0 А, с шагом 0,1, поэтому за ток уставки МТЗ 2 принимаем ближайший больший ток, который можно выставить в устройстве РС83-ДТ2.

Принимаем $I_{ср.МТЗ} = 6,1 \text{ А.}$

Далее необходимо рассчитать действительный ток срабатывания МТЗ 2 по формуле:

$$I_{\text{МТЗ}} = \frac{I_{\text{СР.МТЗ}} \cdot K_{\text{ТТ.ВН}}}{K_{\text{СХ}}} = \frac{6,1 \cdot 100/5}{\sqrt{3}} = 70,4 \text{ А.}$$

Необходимо проверить коэффициент чувствительности МТЗ 2 при КЗ на стороне НН (в точке K_2) по формуле (1.2).

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{K2.\text{min}}^{(2)}}{I_{\text{МТЗ}}} = \frac{226}{70,4} = 3,21 > 1,5.$$

Отсюда следует, что максимально-токовая защита (МТЗ 2) устройства РС83-ДТ2 удовлетворяет требованиям чувствительности к МТЗ.

- выбирается время срабатывания максимально-токовой защиты (МТЗ 2) устройства РС83-ДТ2 по следующей формуле:

$$t_{\text{МТЗ}} = t_{\text{max}} + \Delta t, \quad (3.3)$$

где t_{max} – максимальное время защит линий отходящих от шин НН трансформатора;

Δt – ступень селективности, для учебных расчетов равна 0,5 с.

Время срабатывания МТЗ 2 равно:

$$t_{\text{МТЗ}} = t_{\text{max}} + \Delta t = 2,0 + 0,5 = 2,5 \text{ с.}$$

Используем выдержку времени в МТЗ 2 устройства РС83-ДТ2.

3.5 Расчёт уставок защиты от перегрузки (МТЗ 3) трансформатора

Защита от перегрузки устанавливается на питающей стороне трансформатора и действует на сигнал.

Ток срабатывания защиты от перегрузки на стороне ВН определяется по формуле:

$$I_{\text{ПЕР}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{Т.ном}}, \quad (3.4)$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки защиты от перегрузки равен 1,05;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата токового реле блока защит РС83-ДТ2 равен 0,95, согласно [7]:

$I_{T.ном}$ – номинальный ток трансформатора в месте установки защиты от перегрузки.

Ток срабатывания защиты от перегрузки равен:

$$I_{пер} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 31,6 = 34,9 \text{ А};$$

Защита от перегрузки включена на те же трансформаторы тока, что и токовая отсечка и максимально-токовая защита со схемой соединения в треугольник. Поэтому ток срабатывания реле защиты от перегрузки (МТЗ 3) равен:

$$I_{ср.пер} \geq \frac{I_{пер} \cdot K_{СХ}}{K_{ТТ.ВН}} = \frac{34,9 \cdot \sqrt{3}}{100 / 5} = 3,02 \text{ А}$$

Ток срабатывания реле МТЗ 3 может изменяться от 2,0 до 60,0 А, с шагом 0,1, поэтому за ток уставки МТЗ 3 принимаем ближайший ток, который можно выставить в устройстве РС83-ДТ2.

Принимаем $I_{ср.пер} = 3,0 \text{ А}$.

- время действия защиты от перегрузок выбирается больше, чем время действия всех защит по формуле (3.3).

Время срабатывания защиты от перегрузок МТЗ 3 равно:

$$t_{пер} = t_{МТЗ} + \Delta t = 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ с.}$$

Используем выдержку времени в МТЗ 3 устройства РС83-ДТ2.

В таблице 3.3 приведены выбранные параметры настройки (уставки) защит трансформатора выполненных с применением устройства РС83-ДТ2.

Таблица 3.3 - Параметры настройки защит трансформатора устройства РС83-ДТ2

Наименование параметра	Диапазон регулирования	Параметр
Дифференциальная защита		
Коэффициент выравнивания по току для стороны ВН, $K_{В1}$:	0,1÷5,0 через 0,01	1,83
Коэффициент выравнивания по току для стороны НН, $K_{В2}$:	0,1÷5,0 через 0,01	1,21
Чувствительная ступень дифференциальной защиты (ДТ)		
Уставка чувствительной ступени ДТ по стороне ВН, $I_{d>}$:	(0,5 ÷ 10,0)А, шаг 0,1А	2,8

Продолжение таблицы 3.3

Уставка чувствительной ступени ДТ по стороне НН, $I_{d>}$:	$(0,5 \div 10,0)A$, шаг $0,1A$	4,2
Уставка выдержки времени срабатывания ДТ, t :	$(0,01 \div 1,0)c$, шаг $0,01c$	0,10
Диапазон уставок по току начала торможения:	$(0,5 \div 10,0)A$, шаг $0,1A$	5,0
Коэффициент торможения	0,5	0,5
Уставка фильтра тока по второй гармонике от составляющей первой гармоники дифференциального тока	$(10 \div 30) \%$, шаг 1%	20 %
Уставка фильтра тока по пятой гармонике от составляющей первой гармоники дифференциального тока	$(10 \div 30) \%$, шаг 1%	20 %
Грубая ступень дифференциальной защиты (ДО)		
Уставка грубой ступени ДО по стороне ВН, $I_{d>>}$:	$(5 \div 60,0)A$, шаг $1A$	17
Уставка грубой ступени ДО по стороне НН, $I_{d>>}$:	$(5 \div 60,0)A$, шаг $1A$	25
Уставка времени срабатывания ДО, t :	10-1000 мс, шаг 1мс	100
Максимально-токовая защита		
Уставка токовой отсечки (МТЗ 1), $I_{>}$:	$(2,0 \div 60)A$, шаг $0,1A$	30,6
Уставка выдержки времени (МТЗ 1) при $I/I_{уст}>1$, t :	$(0,1 \div 25,0)c$, шаг $0,1c$	0,1
Уставка максимально-токовой защиты (МТЗ 2), $I_{>>}$:	$(2,0 \div 60)A$, шаг $0,1A$	6,1
Уставка выдержки времени (МТЗ 2) при $I/I_{уст}>1$, t :	$(0,1 \div 25,0)c$, шаг $0,1c$	2,5
Уставка защиты от перегрузки (МТЗ 3), $I_{>>>}$:	$(2,0 \div 60)A$, шаг $0,1A$	3,0
Уставка выдержки времени (МТЗ 3) при $I/I_{уст}>1$, t :	$(0,1 \div 25,0)c$, шаг $0,1c$	3,0

3.6 Газовая защита трансформатора

Газовая защита является наиболее чувствительной защитой трансформаторов от повреждений его обмоток и особенно витковых замыканий, на которые дифференциальная защита реагирует только при замыкании большого числа витков, а МТЗ и отсечка не реагируют совсем.

Образование газов в кожухе трансформатора и движение масла в сторону расширителя могут служить признаком повреждения внутри трансформатора.

Основным элементом газовой защиты является газовое реле. В нашем примере на трансформаторе установлено реле типа ВФ-80/Q.

В соответствии с требованиями ПУЭ схемой защиты трансформатора предусматривается возможность перевода действия отключающего контакта газового реле (кроме отсека РПН) на сигнал и выполнена раздельная сигнализация от сигнального и отключающего контактов.

4 ПОДКЛЮЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА РС83-ДТ2

Схема внешних подключений устройства РС83-ДТ2 представлена на рисунке 4.1.

В качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов от внутренних КЗ применяется продольная дифференциальная защита.

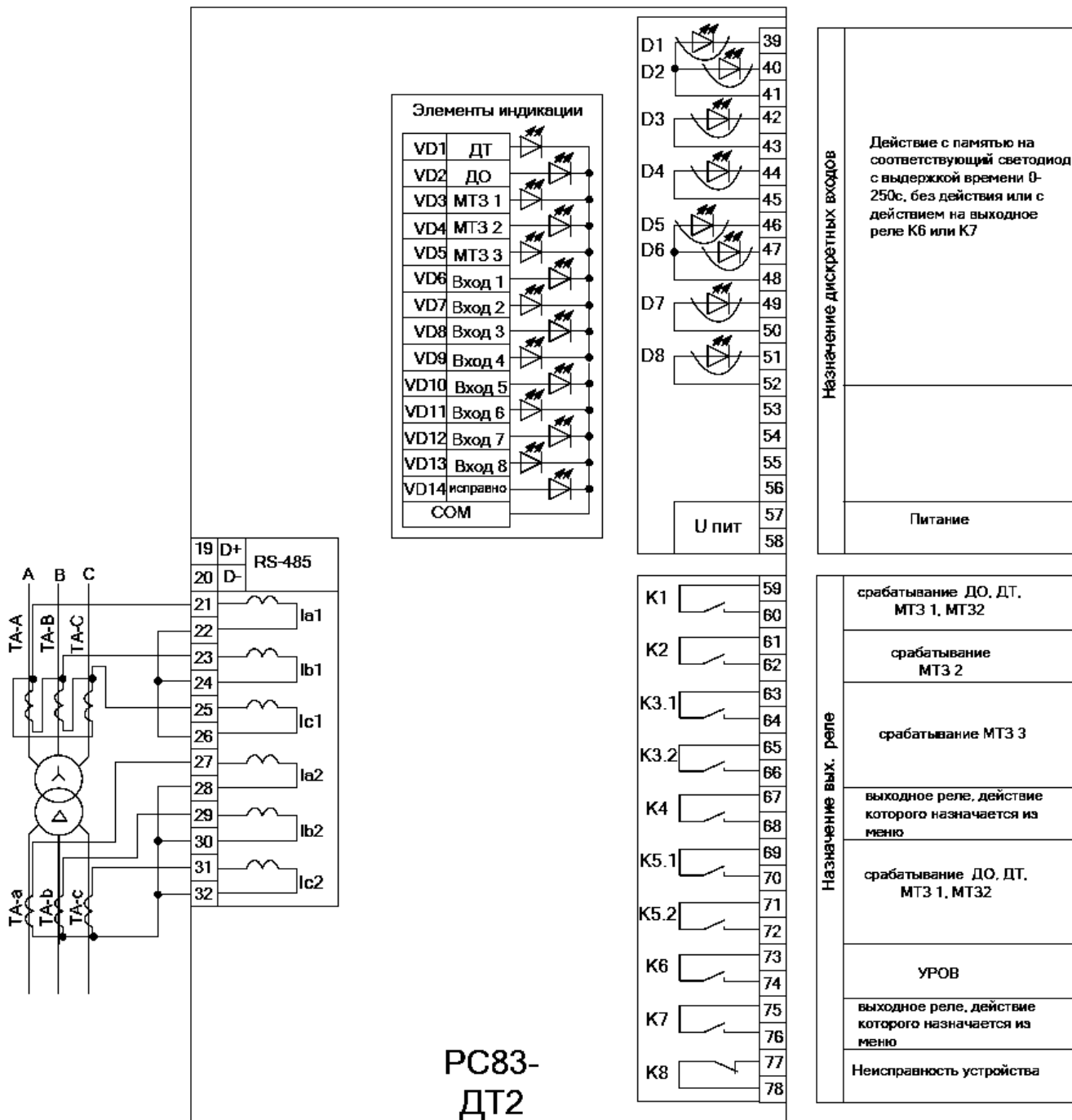


Рисунок 4.1 - Схема внешних подключений устройства РС83-ДТ2

На рисунках 4.2 – 4.9 приведена принципиальная электрическая схема защиты трансформатора напряжением 110/10 кВ со схемой управления выключателем 110 кВ и использованием защиты выполненной с применением устройства РС83-ДТ2.

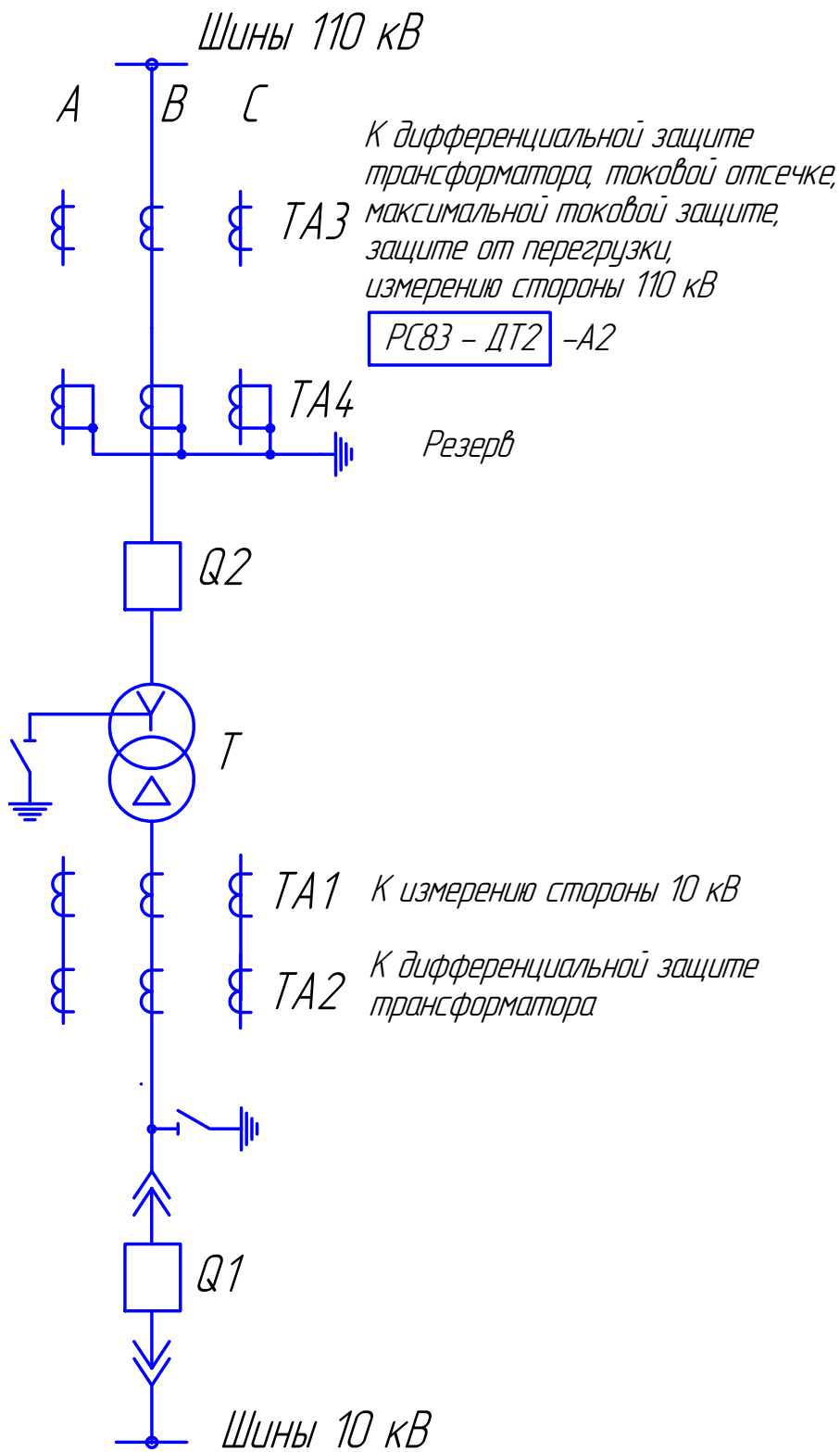


Рисунок 4.2 - Поясняющая схема распределения защит по цепям трансформатора

Трансформаторы тока для продольной дифференциальной защиты устанавливаются со всех сторон защищаемого трансформатора, причем вторичные обмотки ТТ на стороне высшего напряжения соединяются в треугольник, а на стороне низшего напряжения - в полную звезду. На рисунке 4.3 показаны токовые цепи защит трансформатора и схемы их соединения.

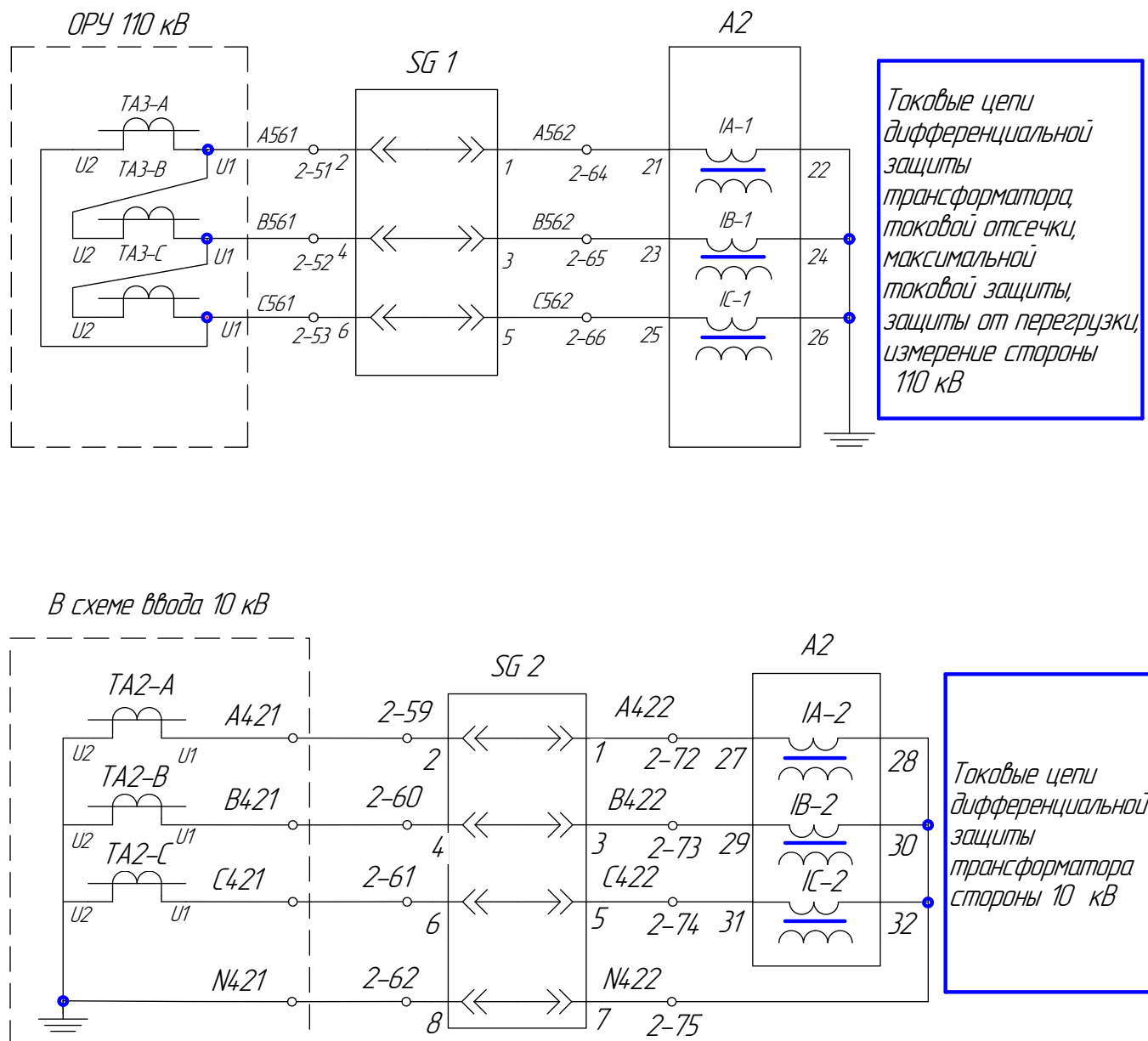


Рисунок 4.3 - Токовые цепи трансформаторов тока

На рисунке 4.4 приведена принципиальная электрическая схема управления выключателем 110 кВ и цепи отключения выключателя от защит трансформатора с применением устройства РС83-ДТ2.

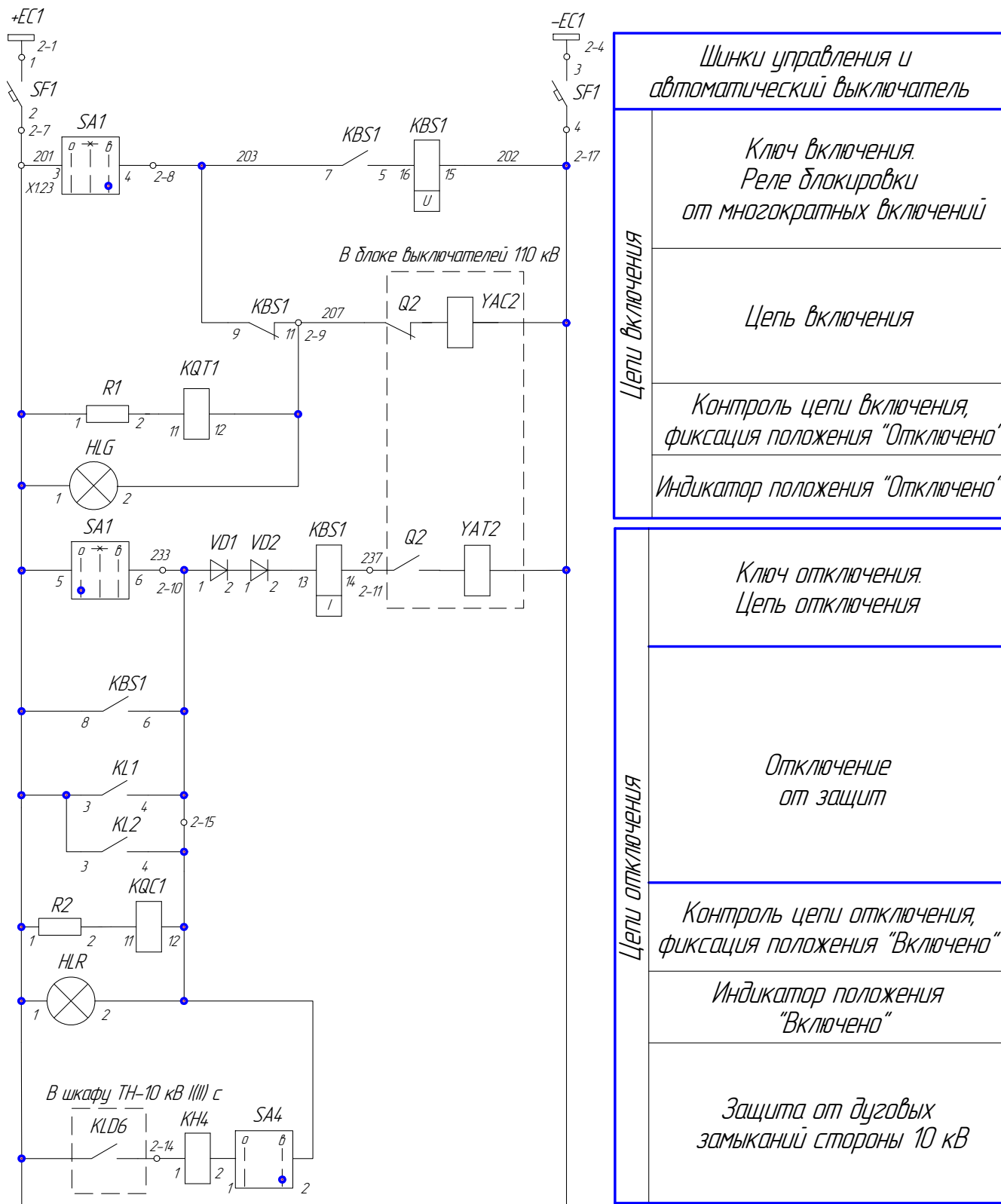


Рисунок 4.4 - Принципиальная схема управления выключателем 110 кВ

На рисунке 4.5 представлена схема выходных реле защиты трансформатора, в которой предусматривается возможность перевода действия отключаю-

щего контакта газового реле на сигнал и выполнена раздельная сигнализация от сигнального и отключающего контактов.

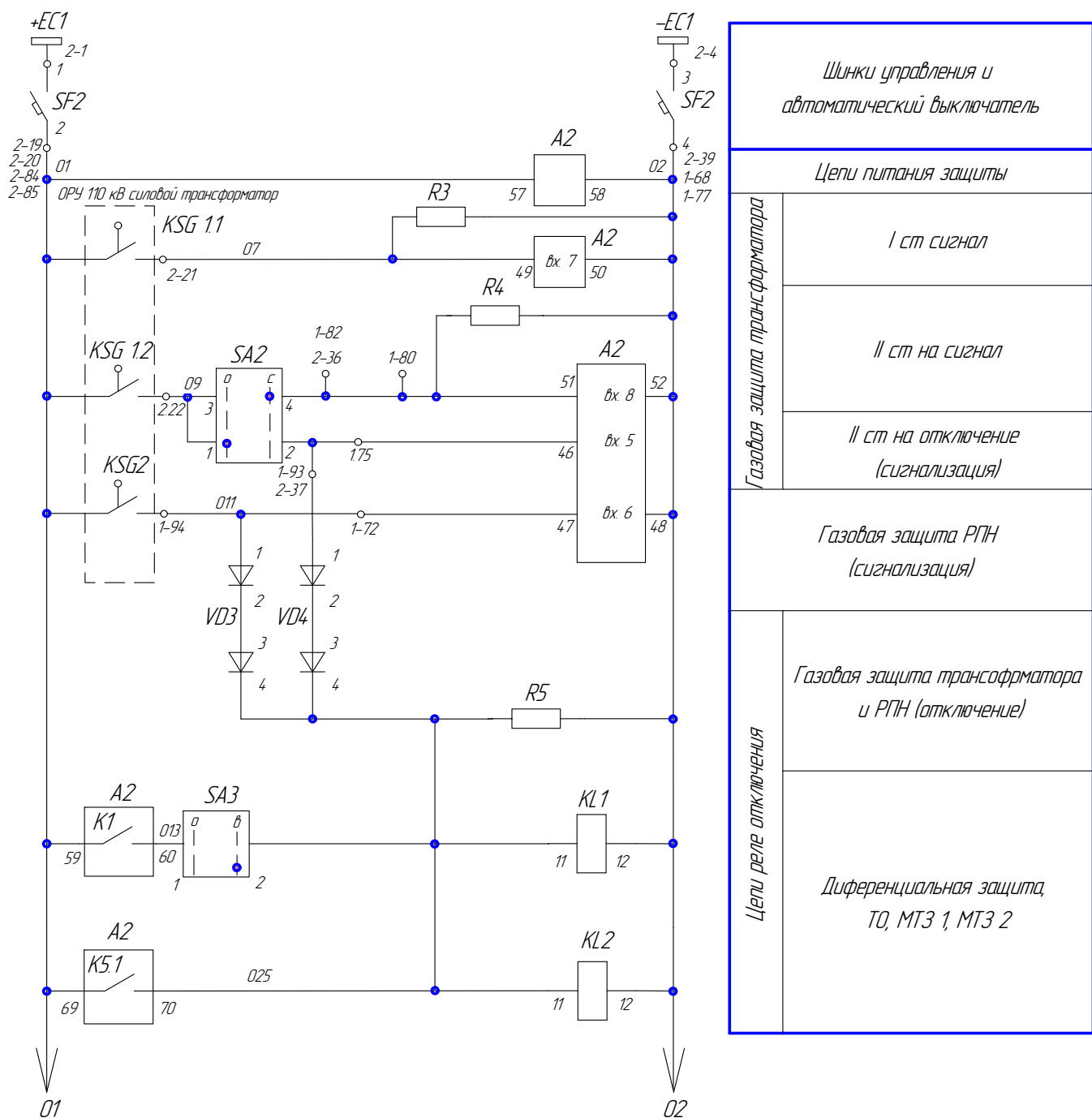


Рисунок 4.5 - Схема выходных реле защиты трансформатора, с применением устройства РС83-ДТ2

На рисунке 4.6 показана схема контроля температуры и уровня масла трансформатора, с применением устройства РС83-ДТ2.

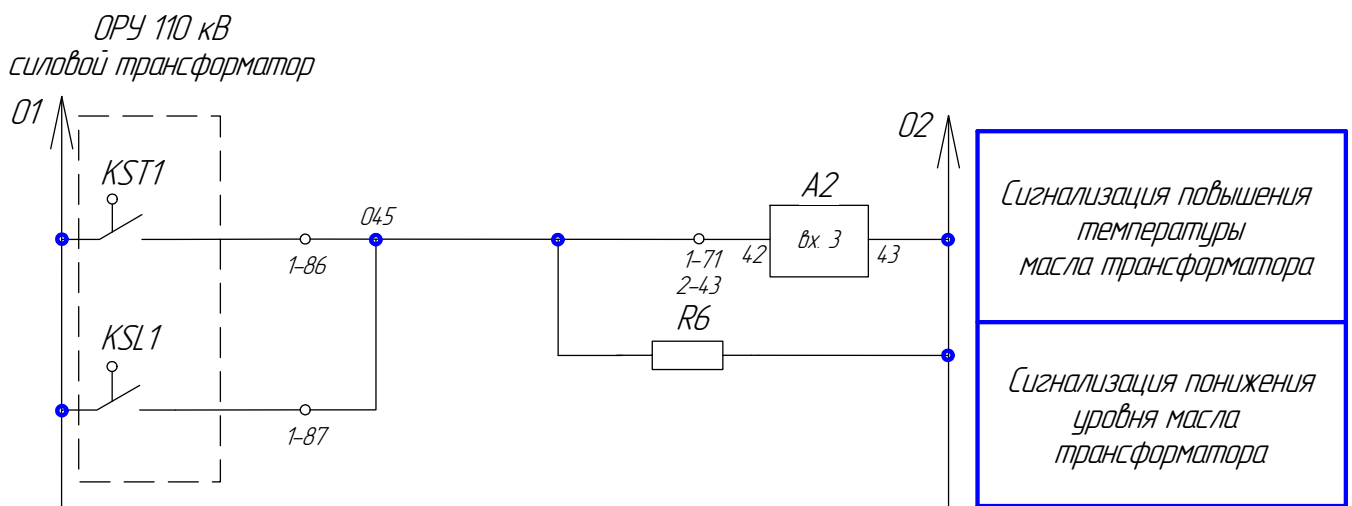


Рисунок 4.6 - Схема контроля температуры и уровня масла трансформатора

На рисунке 4.7 показана схема цепей сигнализации защит трансформатора, с применением устройства РС83-ДТ2.

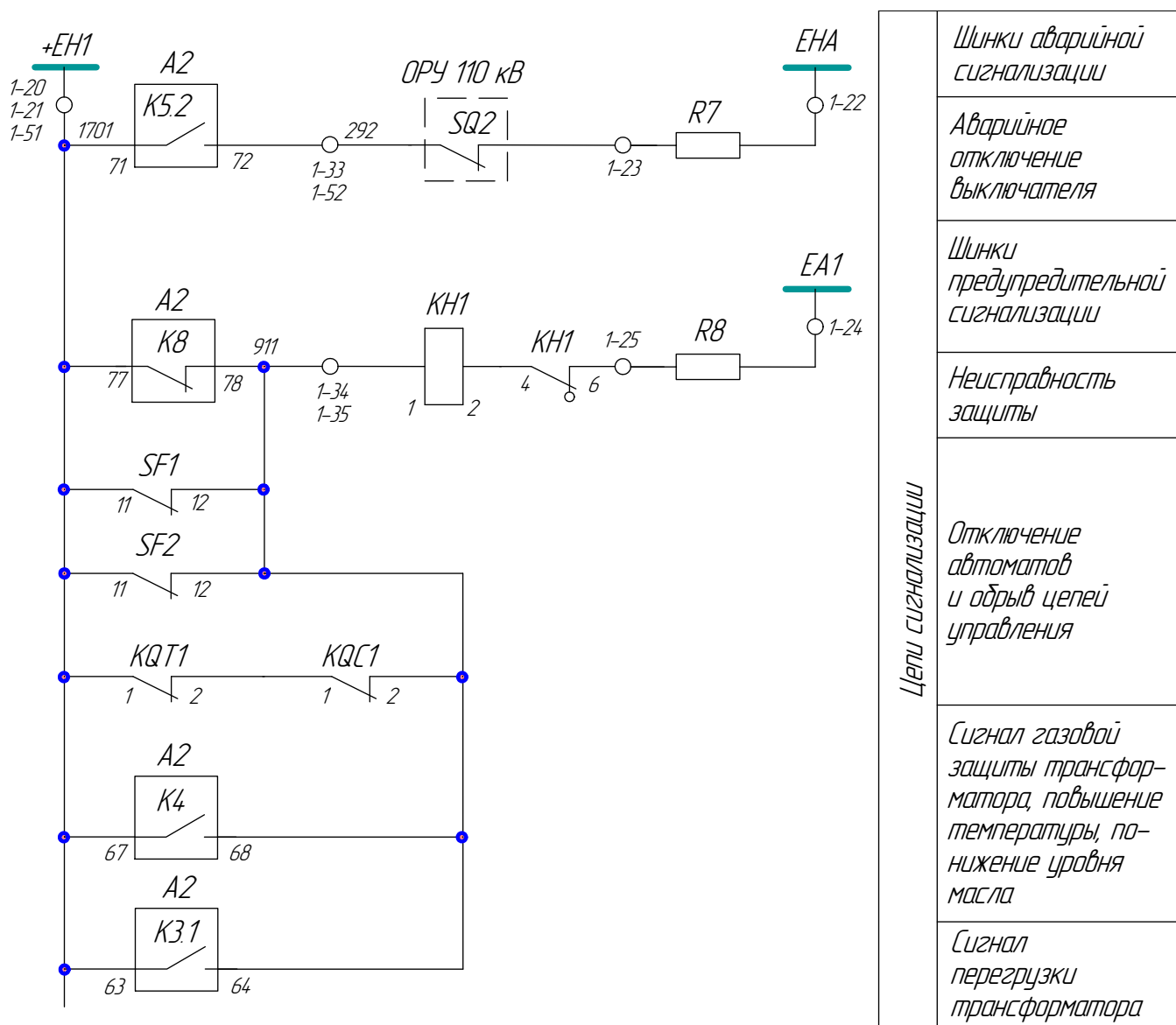


Рисунок 4.7 - Цепи сигнализации защит трансформатора

На рисунке 4.8 показана схема подключения сигнальной лампы цепей сигнализации защит трансформатора, с применением устройства РС83-ДТ2.

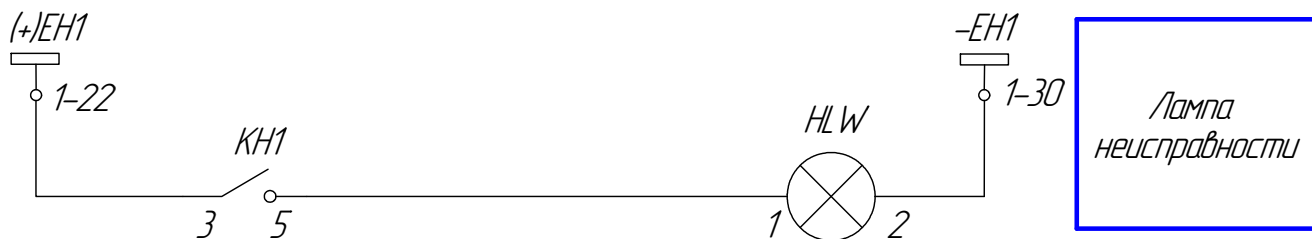
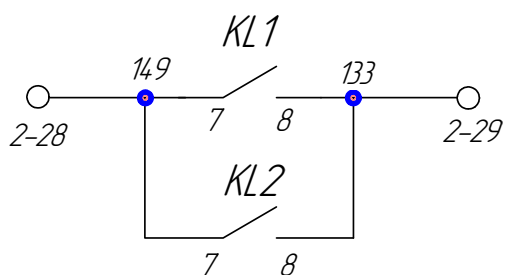


Рисунок 4.8 - Схема подключения сигнальной лампы

На рисунке 4.9 показаны контакты устройства РС83-ДТ2 защиты трансформатора для отключения ввода 10 кВ.



*В схему ввода 10 кВ
(отключение от защит трансформатора)*

Рисунок 4.9 - Контакты защиты трансформатора для отключения ввода 10 кВ

Список литературы

- 1 Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 2007. – 639 с.
- 2 Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
- 3 Плащанский Л.А. Основы электроснабжения. Раздел «Релейная защита электроустановок»: Учебное пособие. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2003. – 141 с.
- 4 Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ. Расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 96 с.
- 5 Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 555 с.
- 6 Шестаков Д.Н. Расчет максимальной токовой защиты и токовых отсечек линий 6, 10, 35 кВ. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2007. – 31 с.
- 7 РС83-ДТ2. Устройство дифференциальной защиты и автоматики по току. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. САБР.656112.005ТО Техническая Библиотека РЗА Б09ТО83ДТ2-1. РЗА СИСТЕМЗ, 2009. – 42 с.
- 8 Андреев В.А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2008. – 252 с.
- 9 Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: Учебное пособие для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 560 с.
- 10 Чернобровов Н.В. Релейная защита. – М.: Энергия, 1974. – 680 с.

Шестаков Дмитрий Николаевич
Помялов Станислав Юрьевич

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ
с использованием микропроцессорного устройства
РС83-ДТ2**

Методические указания
для дипломного проектирования защит трансформаторов
раздела «Релейная защита»
для студентов направления 140200 (специальность 140211)

Редактор Н.М. Устюгова

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 2,75	Уч.-изд. л. 2,75
Заказ	Тираж 50	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.