

(код продукции)

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РС83-ВС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ УСТАВОК ЗАЩИТ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ЛИНИЙ 35 КВ

ЕАБР.656122.009 Д1

(РЕДАКЦИЯ 1.1)

2018

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Оглавление

Условные обозначения	3
1. Принципы организации защит при разных видах КЗ, используемые виды и характеристики защит от КЗ устройства РС83-ВС	4
1.1. Виды КЗ и используемые ступени защит	4
1.2. Общие подходы к организации ступенчатых дистанционных защит и особенности дистанционной защиты устройства РС83-ВС	5
2. Выбор уставок ступеней дистанционной защиты	9
2.1. Первая ступень	9
2.1.1. Требования к первой ступени	9
2.1.2. Выбор уставок первой ступени	10
2.2. Вторая ступень	11
2.2.1. Требования ко второй ступени	11
2.2.2. Выбор уставок второй ступени	11
2.3. Третья ступень	14
2.3.1. Требования к третьей ступени	14
2.3.2. Выбор уставок третьей ступени	14
2.4. Четвертая ступень	15
2.5. Выбор уставки по току срабатывания ступеней ДЗ при их переводе в МТЗ в результате неисправности цепей напряжения	15
3. Определение уставок вспомогательных функций и дополнительных величин, используемых при расчетах уставок дистанционных защит	16
3.1. Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности	16
3.2. Параметры функции отстройки от нагрузки	17
3.3. Определение переходных сопротивлений	17
3.4. Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)	18
4. Выбор уставок защиты от двойных замыканий на землю	19
4.1. Способы реализации защиты от двойных замыканий на землю для сети 35кВ с малыми токами замыкания на землю	19
4.2. Выбор уставок по направленности ступеней ТЗНП	21
4.3. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с первой ступенью ДЗ	21
4.3. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы со второй ступенью ДЗ	21
4.4. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с третьей ступенью ДЗ	23
4.5. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с четвертой ступенью ДЗ	24
4.6. Выбор уставок дополнительной (последней) ступени ТЗНП, предназначенной для повышения чувствительности комплекса защит при двойных замыканиях на землю	24
Приложение. Примеры выбора уставок	26
П1. Выбор уставок дистанционной защиты	26
П1.1. Выбор общих параметров срабатывания ступеней ДЗ	26
П1.2. Первая ступень ДЗ	27
П1.3. Вторая ступень ДЗ	27
П1.4. Третья ступень ДЗ	30
П1.5. Четвертая ступень ДЗ	32
П1.6. Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)	35
П2. Выбор уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП)	36
П2.1. Параметрирование и выбор общих параметров срабатывания ступеней ТЗНП	36
П2.2. Выбор уставок 4 ступени ТЗНП	37
ЛИТЕРАТУРА	39

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм.	Лист	Листов
Разраб.				15.02.18			
Пров.							
Т. контр.							
Н. контр.							
Утв.							

ЕАБР.656122.009 Д1

**МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ
РС83-ВС**

Методические указания по выбору уставок

Лист	Лист	Листов
	2	39

РЗА СИСТЕМЗ

Условные обозначения

$K_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока

$K_{ТН}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения

$Z_{СЗ}$ – сопротивление срабатывания ступени ДЗ

$Z_{Н}$ – сопротивление нагрузки

$\phi_{Н}$ – угол импеданса нагрузки

$\phi_{МЧ}$ – угол максимальной чувствительности

$\phi_{ЗОНЫ}$ – ширина зоны срабатывания

$Z_{Л}$ – сопротивление линии

$K_{Ч}$ – коэффициент чувствительности

$I_{НБ}$ – ток небаланса

$I_{СР}$ – ток срабатывания ступени ДЗ при переводе в МТЗ

$I_{0СР}$ – ток срабатывания ступени ТЗНП

T – уставка по времени срабатывания ступени

ΔT – степень селективности по времени

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕАБР.656122.009 Д1

1. Принципы организации защит при разных видах КЗ, используемые виды и характеристики защит от КЗ устройства РС83-ВС

1.1. Виды КЗ и используемые ступени защит

К коротким замыканиям (КЗ) в сетях с малыми токами замыкания на землю 35кВ относятся трехфазные и двухфазные КЗ, а также двойные замыкания на землю. Двойные замыкания на землю бывают двух видов, которые отличаются друг от друга характером возникающих составляющих токов и напряжений. Двойное замыкание на землю на одной линии по характеру возникающих токов в месте установки защиты (в голове линии) совпадает с двухфазными КЗ. Для двойного замыкания на землю на разных линиях характерно обтекание током КЗ только одной фазы и возникновение составляющей нулевой последовательности тока КЗ, аналогично однофазному КЗ в сети с большими токами замыкания на землю.

В качестве основной защиты от всех видов КЗ в устройстве РС83-ВС рекомендуется использовать дистанционную защиту. Для защиты от двухфазных и трехфазных КЗ дистанционная защита назначается на работу по петле «Фаза фаза» и по принципу действия имеет одинаковую чувствительность, не зависящую от вида КЗ. Для защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях ступень дистанционной защиты должна быть назначена на работу по петле «Фаза ноль». При этом правильный выбор уставки по коэффициенту компенсации фазного тока током нулевой последовательности позволяет обеспечить чувствительность этой ступени, принципиально не отличающуюся от чувствительности ступени ДЗ при трехфазных и двухфазных КЗ. Одна ступень ДЗ может быть назначена на работу по петлям «Фаза фаза, ноль» и как показано выше может иметь одинаковую чувствительность при всех видах КЗ. Поэтому при выборе уставок ступеней дистанционной защиты и проверке их чувствительности можно рассматривать только режим трехфазного КЗ и оперировать значениями токов КЗ только в этом режиме.

В устройстве РС83-ВС имеется 4 ступени защиты от замыканий на землю (ЗНЗ), каждая из которых может быть назначена на работу по измеренному или расчетному току нулевой последовательности. Назначение ступени на работу по измеренному току (0,004-5А) обеспечивает ее работу при замыканиях на землю в сети с малыми токами замыкания на землю. Назначение ступени на работу по расчетному току (0,1-125А) в сети с малыми токами замыкания на землю позволяет обеспечить эффективную работу при двойных замыканиях на землю на разных линиях. При этом чувствительность ступени ЗНЗ по расчетному току нулевой последовательности при двойных замыканиях на землю может оказаться выше, чем чувствительность ступени ДЗ, работающей по петле «Фаза ноль». Количество ступеней защиты по току нулевой последовательности позволяет обеспечить ее использования и в качестве защиты от замыканий на землю в сети с малыми токами замыкания на землю (по измеренному току), и в качестве отдельных ступеней защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях (по расчетному току). Поэтому задача выбора способа защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях для каждой ступени (ДЗ «Фаза-фаза-ноль» или отдельная ступень ЗНЗ по расчетному току нулевой последовательности) может иметь оба указанных решения и при выборе конкретного способа следует руководствоваться

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
4

количеством свободных ступеней ЗНЗ, достигаемой чувствительностью и приоритетами конкретных пользователей устройства.

1.2. Общие подходы к организации ступенчатых дистанционных защит и особенности дистанционной защиты устройства РС83-BC

Параметры срабатывания дистанционных защит, как и всех видов ступенчатых защит, должны отвечать условиям согласования по величине (сопротивлению) и времени (Л.1, Л.2) в соответствии со схемой, изображенной на рис 1. При этом разомкнутый режим работы линии с возможностью поочередного питания с ее разных концов (от источника А или источника В), произвольным расположением точки размыкания и возможностью АВР, характерный для большинства линий 35кВ, с точки зрения выбора уставок мало отличается от замкнутого режима двухстороннего питания. Причем режим двустороннего питания является более общим и более полным. Выбор уставок для разомкнутого режима может выполняться в соответствии с методикой, созданной для замкнутого режима сети с двусторонним питанием, и поэтому именно для этого режима как более общего разработана настоящая методика.

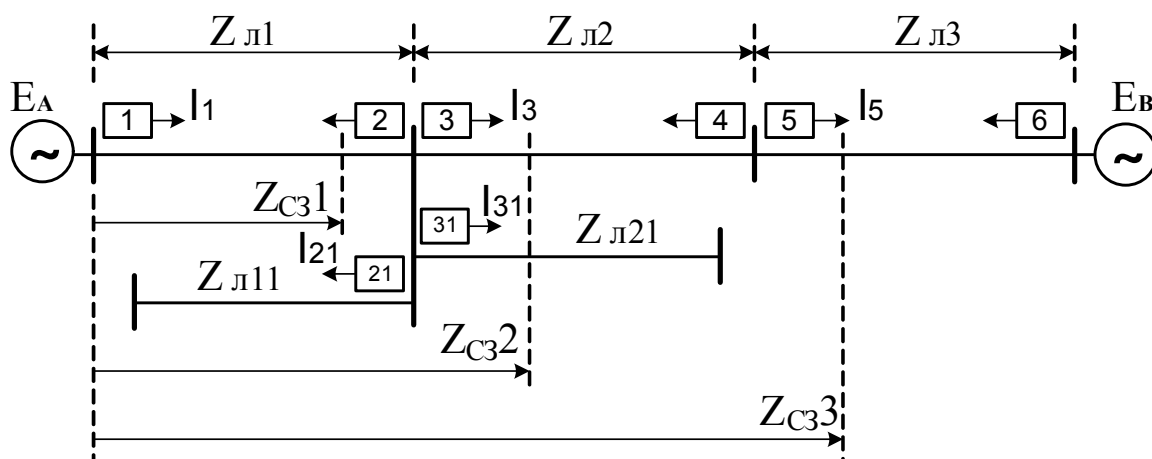


Рис. 1

Дистанционные защиты по принципу выполнения являются направленными, поэтому согласование выполняется для защит направленных в одну сторону (защита 1 согласовывается с защитами 3 и 5). Далее рассматриваются условия согласования и выбор параметров срабатывания для защиты 1. При этом предыдущими по отношению к 1 являются защиты 3, 5, 21, 31. Определение уставок для других защит выполняется аналогично с учетом соответствующего выбора предыдущих защит. На схеме рис.1 в качестве расчетной показана одиночная линия с двусторонним питанием, однако по приведенной методике можно рассчитывать уставки и для схемы с параллельными линиями при этом просто необходимо правильно выбирать предыдущие защиты, а в отдельных случаях в качестве расчетных принимать сопротивления параллельно соединенных линий. Так линия л11 с защитой 21 может рассматриваться как параллельная линии л1, линия л21 как параллельная л2 и т.д. В любом случае при направлении мощности вперед предыдущими по отношению к защите 1 являются защиты 3, 31 и 21, независимо от того л11 и л21 являются параллельными по отношению к л1 и л2 или просто радиальными линиями. Здесь и далее до особого упоминания рассматриваются первичные значения сопротивлений. Ступени дистанционной

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

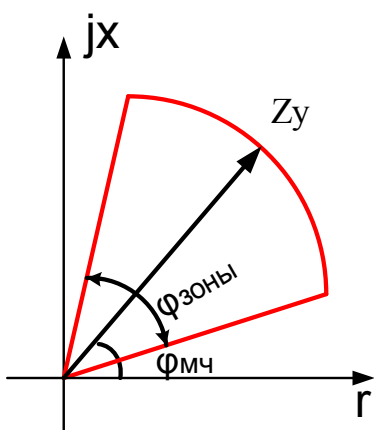
ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
5

защиты, назначенные на работу при однофазных КЗ, и ступени назначенные на работу при междуфазных КЗ при одинаковых значениях уставок и правильно выбранных коэффициентах компенсации фазных токов токами нулевой последовательности, как при междуфазных, так и при однофазных КЗ, ведут себя одинаково и имеют одинаковые зоны защиты. Из этого следует, что для охвата дистанционной защитой всех видов повреждений для каждой зоны защиты следует назначать одну ступень для работы при междуфазных и одну ступень для работы при однофазных КЗ, которые в условиях отсутствия влияния других линий могут иметь одинаковые уставки по Z и по T. Из этого же следует, что в случае назначения ступеней дистанционной защиты на работу одновременно при междуфазных и однофазных КЗ при выборе уставок в условиях отсутствия влияния других линий можно не обращать внимание на вид повреждения – дистанционная защита устройства РС83-ВС по принципу своего устройства одинаково реагирует на любой вид КЗ в одной и той же точке.

Каждая ступень дистанционной защиты устройства РС83-ВС может иметь одну из двух характеристик на комплексной плоскости – круговую или эллиптическую (рис. 2).

1. Характеристика в виде сектора круга



2. Эллиптическая характеристика

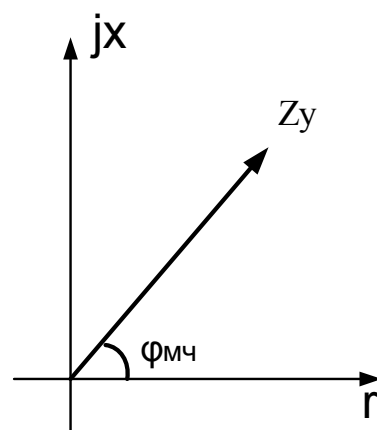


Рис. 2. Виды характеристик ступеней дистанционной защиты устройства РС83-ВС

Выбор основных параметров срабатывания ступеней дистанционной защиты и согласование защит в соответствии с рис.1 выполняется одинаково для круговой и эллиптической характеристики. При выборе конкретного вида характеристики следует руководствоваться соображениями необходимого ограничения зоны срабатывания, выбранным способом отстройки от нагрузки (см. ниже), прочими факторами и приоритетами.

Для защиты в первой зоне используется дистанционная отсечка без выдержки времени. Ее уставка $Z_{сз1}$ (рис. 1) должна быть отстроена от сопротивления до точки установки ближайшей из предыдущих защит, поэтому по принципу действия такая защита имеет мертвую зону в конце защищаемой линии.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Действие ступеней, обеспечивающих вторую зону защиты, своей уставкой $Z_{с2}$ (при однофазных и многофазных КЗ) должно с запасом перекрывать место установки предыдущих защит (3, 31 и 21) и иметь согласование по чувствительности и времени со ступенями первой зоны указанных предыдущих защит. Для сопротивления срабатывания во второй зоне должна проверяться отстройка от сопротивления нагрузки.

Ступени защиты третьей зоны своей уставкой $Z_{с3}$ должны полностью охватывать линию 2, т.е. место установки защиты 5 (резервировать ступени второй зоны предыдущих защит 3), иметь согласование по чувствительности и времени с указанными ступенями второй зоны, и быть отстроенными от режима нагрузки по углу (высокая чувствительность защиты в третьей зоне может не позволить обеспечить отстройку от нагрузки по сопротивлению). Отстройка от нагрузки может осуществляться вводом функции отстройки от параметров нагрузки по ее величине и углу (рис.3) Отстройка от нагрузки по углу также может осуществляться соответствующим выбором значений угла максимальной чувствительности и ширины зоны срабатывания ступени с круговой характеристикой (рис.4), что обеспечивает расположение границы зоны срабатывания за пределами угла нагрузки ϕ_n .

Область отстройки от нагрузки

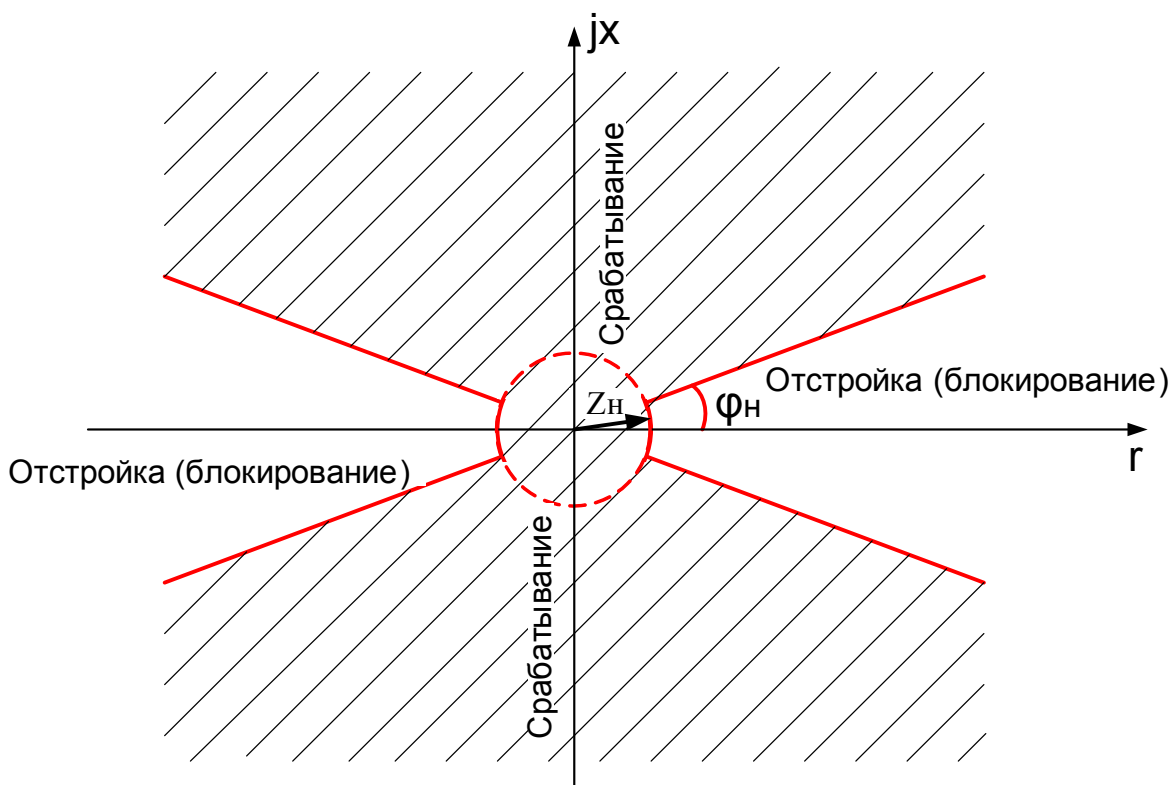


Рис. 3

Инв. № подл	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Инв. № подл	Подп. и дата
Инв. № подл	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Характеристика в виде сектора круга

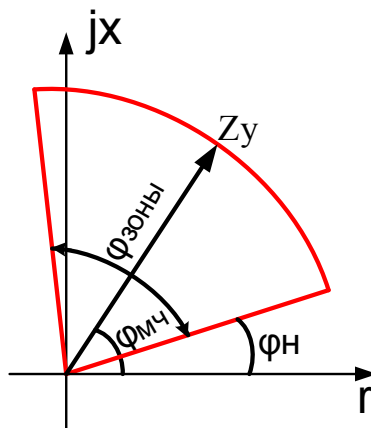


Рис. 4

Если отстройка от нагрузки по углу параметрами характеристики ступени не выполняется, то с учетом рекомендаций Л.2, для всех ступеней ДЗ рекомендуется принимать значение угла максимальной чувствительности $\phi_{мч} = 50^\circ$, для круговой характеристики $\phi_{зоны} = 110^\circ$, а для эллиптической коэффициент сжатия эллипса равный 1 (сжатие отсутствует):

$$\phi_{мч} = 50^\circ; \quad (1.1)$$

$$\phi_{зоны} = 110^\circ.$$

Если выполняется отстройка от нагрузки по углу параметрами круговой характеристики (рис. 4), то рекомендуется принимать:

$$\phi_{зоны} = 100^\circ - \phi_{н}; \quad (1.2)$$

$$\phi_{мч} = 50^\circ + 0,5\phi_{н}.$$

Отстройка от нагрузки по углу параметрами эллиптической характеристики обычно не выполняется.

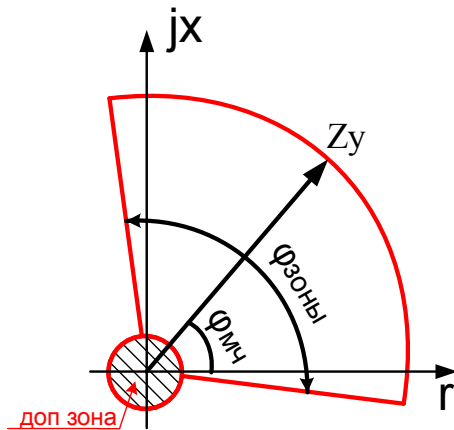
Для отключения КЗ на шинах «За спиной» при установке устройства РС83-ВС на линии с двухсторонним питанием согласно рис.1 (например, для защиты 3 при питании от источника Ев и КЗ между защитой 3 и одной из защит 2, 21 или 31) используется ступень ДЗ с дополнительной зоной в виде круга с центром в начале координат (рис. 5).

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

1. Характеристика в виде сектора круга



2. Эллиптическая характеристика

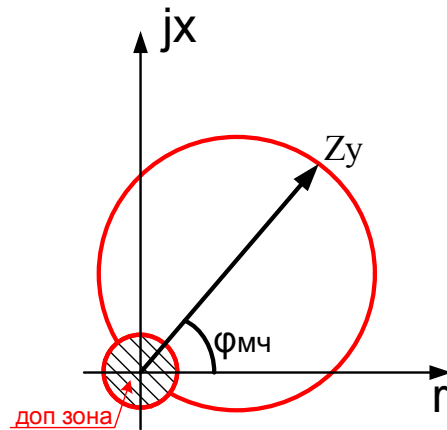


Рис. 5

Для выполнения условий согласования дополнительной зоны ее следует вводить для ступени с временем действия, превышающим на ступень селективности уставку по времени первой зоны защиты своей линии и первых зон всех защит «За спиной». Это условие обычно выполняется для второй ступени (зоны) защиты. Выбор сопротивления срабатывания для дополнительной зоны выполняется исходя из условия согласования по чувствительности со ступенями 1 зоны указанных защит (для защиты 3 – с первой зоной самой защиты 3 и всех защит 2, 21 и 31).

При установке на линии с поочередным питанием от разных источников (без непосредственного использования режима двустороннего питания) дополнительная зона ступеней дистанционной защиты не вводится. Это также относится к линиям с АВР на одном из выключателей в ее середине, если перед АВР обеспечено отключение выключателя со стороны основного питания линии.

2. Выбор уставок ступеней дистанционной защиты

2.1. Первая ступень

2.1.1. Требования к первой ступени

Первая ступень должна обеспечивать селективное отключение всех видов металлических КЗ на 85% полного сопротивления защищаемой линии без выдержки времени. Первая ступень должна быть отстроена от КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит). С учетом указанного, первая ступень имеет мертвую зону в конце защищаемой линии. Первая ступень обеспечивает отключение КЗ в начале защищаемой линии через переходное сопротивление, не превышающее величину 85% полного сопротивления линии.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

2.1.2. Выбор уставок первой ступени

2.1.2.1. Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз1}$ производится по условию отстройки действия защиты от всех видов КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит) и охвата 85% полного сопротивления линии Z_L :

$$Z_{сз1} = 0,85Z_L \quad (2.1)$$

2.1.2.2. Условие отключения КЗ через переходное сопротивление при круговой характеристике обеспечивается выбором параметров срабатывания по углу в соответствии с выражениями (1.1), при которых ось активных сопротивлений оказывается в зоне срабатывания. Переходное сопротивление $R_{пер}$, через которое обеспечивается отключение КЗ в начале линии при круговой характеристике составит

$$R_{пер} = Z_{сз1} \quad (2.2)$$

2.1.2.3. Условие отключения КЗ через переходное сопротивление при эллиптической характеристике обеспечивается применением характеристики без сжатия эллипса, что обеспечивает попадание максимального отрезка оси активных сопротивлений в зону срабатывания. Переходное сопротивление $R_{пер}$, через которое обеспечивается отключение КЗ в начале линии при эллиптической характеристике (без сжатия эллипса), составит

$$R_{пер} = Z_{сз1} \cos \phi_{мч} \quad (2.3)$$

2.1.2.4. Время срабатывания первой ступени T_1 следует принять равным нулю:

$$T_1 = 0 \quad (2.4)$$

Примечание : С целью обеспечения правильной работы при близких металлических КЗ, сопровождающихся просадкой рабочих напряжений ниже уровня, при котором обеспечивается измерение углов между токами и напряжениями, ступени ДЗ на время 0,5 с, переводятся на работу по памяти. При этом, для определения фаз рабочих напряжений в момент их снижения (исчезновения), с частотой 50 Гц моделируется продолжение на 0,5 с изменения синусоиды каждого из указанных напряжений и фазы напряжений определяются по смоделированным синусоидам. Перевод на работу по памяти осуществляется

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

автоматически при снижении напряжений ниже уровня при котором становится невозможным правильное определение фазы напряжения.

2.2.Вторая ступень

2.2.1.Требования ко второй ступени

Вторая ступень должна обеспечивать надежного отключения КЗ всех видов по всей длине линии, в т.ч. при $R_{пер}$, обеспечение селективности действия при к.з. за пределами линии за счет отстройки по времени и чувствительности от первых ступеней предыдущих защит, а также возможное использование ступени в качестве ускоряемой автоматически в режимах опробования линии при ручном включении и АПВ.

2.2.2.Выбор уставок второй ступени

2.2.2.1.Выбор уставки по сопротивлению Z_2 по условию обеспечения чувствительности к КЗ всех видов, по всей длине линии с учетом переходного сопротивления выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \geq k_{ч} Z_{л\text{ рас}} , \quad (2.5)$$

где:

- $k_{ч} = 1,25$ – необходимый коэффициент чувствительности при КЗ любого вида на шинах противоположного конца линии;
- $Z_{л\text{ рас}}$ максимальное значение расчетного сопротивления, определяемого при КЗ в конце защищаемой линии через переходное сопротивление.

Сопротивление $Z_{л\text{ рас}}$ определяется активным $R_{л}$, реактивным $X_{л}$ сопротивлением защищаемой линии и переходным сопротивлением $R_{пер}$ в соответствии с выражением

$$Z_{л\text{ рас}} = \sqrt{X_{л}^2 + (R_{л} + R_{пер})^2} \quad (2.6)$$

Значение переходного сопротивления $R_{пер}$ при междуфазных (трехфазных и двухфазных) КЗ принимается равным половине сопротивления дуги, определяемого в соответствии с пунктом . Учет переходных сопротивлений при двойном замыкании на землю на разных линиях в параметрах срабатывания ступеней ДЗ не выполняется, если в качестве обязательной защиты от этого режима как рекомендовано применяется защита по расчетному току нулевой последовательности 3I0.

2.2.2.2.Выбор уставки по сопротивлению по условию отстройки от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z_{пс} , \quad (2.7)$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

где $Z_{пс}$ – сопротивление от места установки защиты до указанных шин подстанции.

2.2.2.3. Для согласования второй ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z. \quad (2.8)$$

Согласование по чувствительности с предыдущими защитами должно выполняться отдельно для междуфазных КЗ и двойных замыканий на землю на разных линиях с учетом параметров нулевой последовательности. Согласование при двойных замыканиях на землю на разных линиях выполняется только если для согласуемой ступени ДЗ предусмотрена работа по петле «Фаза ноль».

Для второй ступени также должно проверяться условие отстройки от нагрузки по величине сопротивления

$$Z_{сз2} \leq Z_n,$$

где Z_n – сопротивление нагрузки, определяемое в соответствии с выражением 3.2.

Если выполнение этого условия требует загробления ступени, то рекомендуется вводить блокировку ступени по условию отстройки от нагрузки и при выборе уставки ступени указанное условие не учитывать.

2.2.2.4. Время срабатывания второй ступени ДЗ T_2 выбирается по условиям отстройки на ступень селективности ΔT от времени действия первых ступеней предыдущих защит T_1 пр

$$T_2 = T_{1пр} + \Delta T, \quad (2.9)$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕАБР.656122.009 Д1

Степень селективности **ΔТ** рекомендуется принимать 0,5с если согласование выполняется с электромеханическими защитами или на защищаемых присоединениях используются масляные выключатели старых типов. При согласовании с цифровыми защитами и при использовании современных вакуумных выключателей с временем отключения не более 0,1с степень селективности может быть уменьшена до 0,25-0,3с.

2.2.2.5. Если линия работает в режиме двустороннего питания, то для второй ступени ДЗ должна быть введена работа по дополнительной зоне, охватывающей начало координат и предназначенной для отключения КЗ на шинах «За спиной» при питании от источника с противоположного конца линии. Сопротивление срабатывания ненаправленной дополнительной зоны **Zсз доп** должно быть отстроено от сопротивления срабатывания первой ступени защиты своей линии и первых ступеней защит всех присоединений секции шин, к которой подключена защищаемая линия, в соответствии с выражением

$$Z_{сз доп} \leq 0,85Z_{сз1}, \quad (2.10)$$

где **Zсз1** – сопротивление срабатывания первых ступеней дистанционных защит, от которых выполняется отстройка, или сопротивление от места установки защиты до точки сети, в которой ток трехфазного КЗ равняется току срабатывания защиты для токовых защит.

Если для второй ступени введена дополнительная зона, то необходимо также проверить отстройку второй ступени по времени от времен действия первых ступеней тех защит, от которых выполнялась отстройка по сопротивлению срабатывания дополнительной зоны.

Отстройка дополнительной зоны второй ступени ДЗ по сопротивлению от указанных первых ступеней защит и ее работа с временем срабатывания второй ступени, отстроенным от времен действия этих первых ступеней, обеспечивает ее срабатывание при питании с противоположного конца линии только если точка КЗ располагается на шинах или в мертвой зоне между трансформаторами тока защищаемой линии и трансформаторами тока тех присоединений, от первых ступеней защит которых выполнена отстройка.

Примечание 1: Если при работе второй ступени дистанционной защиты КЗ сопровождается просадкой рабочих напряжений ниже уровня, при котором обеспечивается измерение углов между токами и напряжениями, и уставка по времени ступени не более 0,5 с, то степень автоматически отработывает по памяти.

Примечание 2 : Вторую ступень, при условии, что она обеспечивает чувствительность к КЗ всех видов (в т.ч. через **R_{пер}**) по всей длине линии, рекомендуется использовать в качестве автоматически ускоряемой ступени при АПВ и ручном включении.

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕАБР.656122.009 Д1

2.3.Третья ступень

2.3.1.Требования к третьей ступени

Отключения КЗ всех видов с $K_{ч} \geq 1.5$ на своей линии.

Работа через $R_{пер}$ при КЗ на своей линии, особенно если это не удалось обеспечить для второй ступени.

Обеспечение селективности действия при КЗ за пределами линии за счет отстройки по времени и чувствительности от вторых ступеней предыдущих защит.

Обеспечение дальнего резервирования действия защит смежных элементов сети (предыдущего участка линии, трансформатора на подстанции в конце защищаемой линии) – по возможности.

Отстройка от параметров нагрузки.

2.3.2.Выбор уставок третьей ступени

2.3.2.1.Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз3}$ выполняется в первую очередь по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит. При этом отстройка выполняется так же как при расчете уставок вторых ступеней по пункту 2.2.2.3, но с использованием параметров не первых, а вторых ступеней предыдущих защит.

А именно:

Для согласования третьей ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для третьей ступени такой является вторая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z.$$

(2.11)

2.3.2.2.Для отстройки третьей ступени ДЗ от параметров нагрузки рекомендуется для нее вводить специальную функцию отстройки от нагрузки, выбор параметров срабатывания которой рассмотрен в пункте 3.2.

2.3.2.3.Коэффициент чувствительности третьей ступени

Инд. № подл.	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инд. № подл.	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
ЕАБР.656122.009 Д1											14

$$k_{\text{ч3}} = Z_{\text{сз2}} / Z_{\text{ЛРАС}} . \quad (2.12)$$

Здесь $Z_{\text{ЛРАС}}$ определяется с учетом переходного сопротивления в соответствии с выражением (2.6). Обращаем внимание, что переходное сопротивление для разных ступеней защиты может быть разным, так как оно зависит от сопротивления дуги, а длина дуги кроме прочего зависит от времени ее существования, поскольку дуга может вытягиваться ветром.

Коэффициент чувствительности третьей ступени $k_{\text{ч3}}$ должен быть не меньше 1,5.

2.3.2.4. Проверка выполнения дальнего резервирования осуществляется путем сравнения сопротивления срабатывания Z_3 с сопротивлением $Z_{\text{др}}$ от места установки защиты до точки сети, определяющей конец зоны резервирования (конец предыдущего участка линии, шины низшего напряжения подстанции). Коэффициент чувствительности при дальнем резервировании

$$k_{\text{ч др}} = Z_{\text{сз3}} / Z_{\text{др}} . \quad (2.13)$$

должен быть не менее 1,2.

2.3.2.4. Время срабатывания третьей ступени T_3 выбирается по условиям отстройки от времени действия вторых ступеней предыдущих защит $T_{2\text{пр}}$

$$T_3 = T_{2\text{пр}} + \Delta T, \quad (2.14)$$

2.3.2.5. Для третьей ступени ДЗ рекомендуется вводить автоматическое ускорение при включении выключателя.

2.4. Четвертая ступень

Четвертая ступень дистанционной защиты может использоваться, если при конкретных характеристиках защищаемой сети первыми тремя ступенями не удастся обеспечить выполнение всех требований к указанным ступеням. Выбор уставок четвертой ступени по отношению к уставкам третьих ступеней своей и предыдущих защит выполняется по тем же правилам, по которым выполняется выбор уставок третьей ступени по отношению к уставкам вторых ступеней.

2.5. Выбор уставки по току срабатывания ступеней ДЗ при их переводе в МТЗ в результате неисправности цепей напряжения

Работа дистанционной защиты при потере или неисправности цепей напряжения невозможна. В устройстве РС83-ВС выявление неисправности цепей напряжения осуществляется специальной функцией блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН), которая автоматически переводит дистанционные ступени в максимально-токовые с отдельными уставками по току.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Для совпадения зон срабатывания ступеней ДЗ и МТЗ, в которую переводится ДЗ, уставку по току следует выбирать при металлических КЗ в конце зоны действия соответствующей ступени дистанционной защиты. Кроме того, для того, чтобы ступень МТЗ после перевода так же как исходная ступень ДЗ имела одинаковую чувствительность при двухфазных и трехфазных КЗ, работу ступени МТЗ рекомендуется назначать по линейным токам. Если исходная ступень ДЗ была назначена и на работу по петле «Фаза ноль», то обеспечение необходимой чувствительности после потери цепей напряжения в режиме двойного замыкания на землю на разных линиях должно осуществляться отдельной ступенью ТЗНП в соответствии с пунктами 4.2-4.5. Расчетным режимом является режим трехфазного КЗ. Ток срабатывания 1 (2, 3, 4) ступени ДЗ после перевода в МТЗ $I_{сз1(2,3,4)}$

$$I_{сз1(2,3,4)} = \sqrt{3} I_{кз}^{(3)}, \quad (2.15)$$

где $I_{сз1(2,3,4)}$ - фазный ток при 3-ф металлическом КЗ в конце зоны чувствительности 1(2,3,4) ступени ДЗ.

Время срабатывания ступени ДЗ после перевода в МТЗ можно оставить без изменения.

Альтернативой предложенной методике выбора уставок ступеней ДЗ после их перевода в МТЗ при БНН может быть полный расчет уставок ступеней как МТЗ.

3. Определение уставок вспомогательных функций и дополнительных величин, используемых при расчетах уставок дистанционных защит

3.1. Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности

Для правильной работы при двойных замыканиях на землю на разных линиях ступени ДЗ, назначенной кроме прочего на работу по петле «Фаза ноль», должен быть задан коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности K . Коэффициент K определяется соотношением сопротивлений нулевой Z_0 и прямой Z_1 последовательности

$$K = (Z_0 - Z_1) / Z_1 \quad (3.1)$$

В общем случае для каждой ступени коэффициент K следовало бы определять сопротивлениями нулевой и прямой последовательности до точки, соответствующей срабатыванию ступени. Однако, если нет других соображений, рекомендуется использовать для всех ступеней тот же коэффициент компенсации, что и для первой ступени. Указанное обуславливается тем, что следует отдавать приоритет в части обеспечения точности замеров измерительных органов применительно к КЗ на своей линии. Расчет коэффициентов компенсации по условиям выбора уставок ступеней дальнего резервирования вообще не

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

однозначен, ввиду различия параметров по разным присоединениям и поэтому обеспечить оптимальный коэффициент компенсации для них крайне затруднительно.

3.2. Параметры функции отстройки от нагрузки

Функция отстройки от нагрузки, образует „вырез” в характеристике ступени дистанционной защиты, который определяется параметрами Z_n и ϕ_n - общими для всех ступеней. Уставка по сопротивлению выреза нагрузки, определяет область, в которой располагаются замеры сопротивлений возможных нагрузочных режимов. При попадании замера сопротивления в эту область блокируется действие ступени ДЗ, для которой функция выреза от нагрузки включена. Уставку по сопротивлению можно определить в соответствии с выражением:

$$Z_n = 0,85 U_{\text{мин}} / \sqrt{3} I_{n \text{ макс}}, \quad (3.2)$$

где:

- $U_{\text{мин}}$ – действующее значение минимального междуфазного рабочего напряжения в кВ;
- $I_{n \text{ макс}}$ – действующее значение максимального нагрузочного тока линии в кА;

Уставка по углу нагрузки равна:

$$\phi_n = \phi_{n \text{ макс}} + 5^\circ, \quad (3.3)$$

где - $\phi_{n \text{ макс}}$ – максимально возможный угол полного сопротивления нагрузки.

3.3. Определение переходных сопротивлений

3.3.1. При междуфазных КЗ переходное сопротивление принимается равным половине сопротивления дуги

$$R_{\text{пер}} = 0,5 R_d \quad (3.4)$$

Сопротивление дуги может быть рассчитано в соответствии с выражением

$$R_d = 1050 \epsilon_d / I, \quad (3.4)$$

где:

- ϵ_d – длина дуги, м;
- I – ток КЗ в конце зоны защиты рассматриваемой ступени, А.

Длина дуги ϵ_d с учетом ее вытягивания ветром за время действия ступени защиты для разных ступеней принимается:

- для первой ступени (без выдержки времени) – равной расстоянию между фазами;
- для второй ступени – равной 3-5 расстояний между фазами;
- для третьей ступени – равной 7-10 расстояний между фазами.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

При этом большие значения принимаются для регионов с большей скоростью ветра.

3.3.2. При двойных замыканиях на землю на разных линиях значение переходного сопротивления следует принимать равным сопротивлению заземления опоры. При отсутствии конкретных данных по значению сопротивления заземления опор на защищаемой линии, может быть принято максимально допустимое значение сопротивления в соответствии с требованиями ПУЭ – для линий 35кВ – **10 Ом**.

3.4. Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)

Функция БНН может работать по четырем алгоритмам, а именно:

- контроль цепей напряжения сумме напряжений (по схеме треугольник-звезда);
- контроль по составляющим прямой последовательности;
- контроль по составляющим обратной последовательности;
- контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу.

3.4.1. Уставку по напряжению небаланса в алгоритме по схеме треугольник-звезда рекомендуется принимать **10 В**.

3.4.2. Контроль по составляющим прямой последовательности предназначен для выявления повреждения цепей напряжения с полным исчезновением напряжения в трех фазах (например, отключение автомата или обрыв контрольного кабеля). При работе по составляющим прямой последовательности, устройство контролирует соотношение напряжения и тока прямой последовательности. Если напряжение прямой последовательности ниже 1 В и при этом ток прямой последовательности больше уставки по току нижней границы и меньше уставки по току верхней границы, то БНН сработает по прямой последовательности.

Уставка по току нижней границы I_{1min} - уровень тока для обнаружения обесточенного состояния ВЛ, должна быть отстроена от наведенных токов на отключенной линии:

$$I_{1min} \geq k_{отс} \cdot I_{нв}, \quad (3.5)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$I_{нв}$ – суммарный наведенный ток на отключенной линии.

Рекомендуется данную уставку принять – $I_{1min} = 0,1 I_{ном}$.

Уставка по току верхней границы I_{1max} должна с запасом превышать ток нагрузки I_n :

$$I_{1max} = k_з \cdot I_n, \quad (3.6)$$

где: $k_з$ – коэффициент запаса, $k_з = 1,1-1,2$.

При этом, для исключения работы блокировки при трехфазном КЗ, ток I_{1max} должен быть меньше тока трехфазного КЗ в начале линии в минимальном режиме.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

3.4.3. Контроль по составляющим обратной последовательности основан на появлении напряжения обратной последовательности при отсутствии тока обратной последовательности.

Уставка по напряжению обратной последовательности должна быть отстроена от небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений. Обычно для этого с запасом достаточно принять уставку по

$$U_2 = (0,05-0,1) U_{ном}. \quad (3.7)$$

Уставка по току обратной последовательности I_2 должна быть отстроена от несимметрии токов нагрузки:

$$I_2 = k_3 \cdot I_{2нб}, \quad (3.8)$$

где: k_3 – коэффициент запаса, $k_3 = 1,5-3$;

$I_{2нб}$ – ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки.

Ток $I_{2нб}$ определяется через максимальный ток нагрузки $I_{н max}$ согласно выражения:

$$I_{2нб} = 0,1 I_{н max} \quad (3.9)$$

При этом для исключения работы блокировки при несимметричных КЗ уставка по току обратной последовательности должна быть меньше минимального тока обратной последовательности при любом несимметричном КЗ.

3.4.4. Для выявления отключения автомата ТН в устройстве предусмотрен алгоритм БНН с внешним пуском по одному из дискретных входов. Контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу предполагает сопоставление факта просадки любого из контролируемых междуфазных напряжений ниже $0,7U_n$ и наличия сигнала внешнего пуска ЗОЦН на назначенном для этой цели дискретном входе. Алгоритм не требует задания уставок.

4. Выбор уставок защиты от двойных замыканий на землю

4.1. Способы реализации защиты от двойных замыканий на землю для сети 35кВ с малыми токами замыкания на землю

На двойные замыкания на землю на одной линии успешно реагирует ступень ДЗ, назначенная на работу по петле «Фаза фаза». На двойные замыкания на землю на разных линиях с тем же успехом реагирует ступень ДЗ, назначенная на работу по петле «Фаза ноль». Выбор уставок ДЗ для защиты от двойных замыканий на землю при соответствующем учете переходных сопротивлений и правильном выборе коэффициентов компенсации не отличается от уже описанного для междуфазных КЗ. Поэтому ступень ДЗ, выбранная по условиям работы при междуфазных КЗ и назначенная на работу по петле «Фаза-фаза-ноль», обеспечивает работу при двойных замыканиях на землю так же как при междуфазных КЗ. Но учитывая характерное для двойных замыканий на землю повышенное переходное

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

сопротивление в двух точках повреждения, более эффективным для защиты от таких повреждений может оказаться использование защит, реагирующих на симметричные составляющие тока КЗ.

При двойных замыканиях на землю на одной линии более чувствительной часто оказывается токовая защита обратной последовательности (ТЗОП). Выбор уставок этого вида защиты выполняется по отдельной методике (л.5).

При двойных замыканиях на землю на разных линиях, режимы на каждой из поврежденных линий сопровождаются появлением составляющей нулевой последовательности тока КЗ, аналогично однофазному КЗ в сети с большими токами замыкания на землю. В таком режиме более эффективным обычно является использование токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП), как это принято при однофазных КЗ в сети с большими токами замыкания на землю. Выбор уставок ТЗНП при ее использовании в качестве защиты от таких повреждений рассмотрен ниже. При этом используемые ступени ТЗНП должны назначаться на работу по расчетному току нулевой последовательности $3I_{0p}$ (диапазон вторичных токов срабатывания 0,1-125А). При формулировании условий выбора уставок защиты от двойных замыканий на землю на разных линиях в сети 35кВ с малыми токами замыкания на землю использованы рекомендации по выбору уставок ТЗНП как защиты от однофазных КЗ в сети с большими токами замыкания на землю (л.б). При этом учтены особенности сетей 35кВ и их режимов.

Чувствительность ступеней ТЗНП при двойных замыканиях на землю на разных линиях может оказаться примерно такой же, как соответствующих ступеней ДЗ, работающих по петле «Фаза ноль». В этом случае на усмотрение пользователя может быть применен один из двух вариантов выполнения защит от КЗ с использованием устройства РС830-ВС:

1. Назначение ступеней ДЗ на работу по контурам «Фаза-фаза-ноль» без использования соответствующих ступеней ТЗНП;

2. Назначение ступеней ДЗ на работу по петле «Фаза-фаза» и использование дополнительно ступеней ТЗНП, соответствующих каждой из ступеней ДЗ, для работы при двойных замыканиях на землю на разных линиях.

В любом из принятых вариантов для повышения чувствительности всего комплекса защит при двойных замыканиях на землю на разных линиях целесообразно применить еще одну – последнюю – ступень ТЗНП, уставки которой выбираются по условиям отстройки по чувствительности и времени от последних (наиболее чувствительных) ступеней предыдущих защит. Причем отстройка этой ступени выполняется только от предыдущих защит, по принципу устройства реагирующих на двойные замыкания на землю на разных линиях (когда током КЗ обтекается одна фаза).

Ниже приводятся рекомендации по выбору уставок ступеней ТЗНП по расчетному току $3I_{0p}$, для их использования в качестве защиты от двойных замыканий на землю одновременно с каждой из ступеней ДЗ. Но с учетом имеющегося количества свободных ступеней нулевой последовательности после выделения их необходимого количества для

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

работы по измеренному току $3I_{0и}$ при однофазных замыканиях на землю, для работы при двойных замыканиях на землю рекомендуется использовать ТЗНП по расчетному току $3I_{0р}$ только совместно с последними ступенями ДЗ. Обычно получается, что первые несколько ступени ДЗ следует назначать на работу по петле «Фаза-фаза-ноль» без использования вместе с ними ступеней ТЗНП, а последние – по петле «Фаза-фаза» с одновременным назначением для работы при двойных замыканиях на землю отдельных ступеней ТЗНП по $3I_{0р}$.

4.2. Выбор уставок по направленности ступеней ТЗНП

Угол максимальной чувствительности ступеней ТЗНП, используемых в качестве защиты от двойных замыканий на землю и направленных вперед, рекомендуется принимать 65° . Ширину зоны срабатывания рекомендуется принимать 170° . Гистерезис по углу рекомендуется принимать 5° .

4.3. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с первой ступенью ДЗ

4.2.1. Рассматриваемая ступень ТЗНП должна использоваться, если для первой ступени ДЗ не назначена работа по петле «Фаза-ноль», иначе ее использование не обязательно.

4.2.2. Время срабатывания этой (условно первой) ступени ТЗНП рекомендуется принимать равным нулю или минимально отличным от нуля (не более 0,1с). При этом для обеспечения селективности ток срабатывания ступени должен выбираться по условию отстройки от максимального тока двойного замыкания на землю при расположении одной точки КЗ в конце защищаемой линии, а второй на питающих шинах

$$3I_{0ср1} \geq 1.2 I_{дзнз \max}, \quad (4.1)$$

где $I_{дзнз \max}$ – максимальный ток двойного замыкания на землю при одной точке замыкания в конце защищаемой линии, а второй – за спиной, за пределами линии (на шинах питающей подстанции).

4.2.3. Коэффициент чувствительности $K_{ч1}$ ступени ТЗНП должен определяться при токе $I_{дзнз}$ для случая расположения одной точки КЗ в начале защищаемой линии и наиболее благоприятных по условиям чувствительности условиях

$$K_{ч1} = I_{дзнз} / 3I_{0ср1}. \quad (4.2)$$

Значение коэффициента чувствительности согласно требований ПУЭ должно быть $K_{ч1} \geq 1.2$.

4.3. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы со второй ступенью ДЗ

4.3.1. Рассматриваемая ступень ТЗНП должна использоваться, если для второй ступени ДЗ не назначена работа по петле «Фаза-ноль», иначе ее использование не обязательно.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

4.3.2. Выбор уставки по току этой (условно второй) ступени ТЗНП выполняется по условию согласования с предыдущими защитами, которые по принципу устройства реагируют на режим двойного замыкания на землю на разных линиях (при котором током КЗ обтекается только одна фаза защищаемой линии). К таким предыдущим защитами относятся ступени токовых защит или ступени ДЗ, работающие по петле «Фаза ноль». Если среди комплекта предыдущих защит имеются ТЗНП, то условия согласования обычно достаточно проверять только по отношению к этим защитами, как более чувствительным.

Для согласования этой ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты (ТЗНП или МТЗ) при расположении одной точки двойного замыкания на землю в указанной точке. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше или равно времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты. Для выполнения условия согласования ток срабатывания рассматриваемой ступени ТЗНП **3I0ср2** должен с необходимым запасом превышать ток двойного замыкания на землю в найденной точки сети в максимальном режиме **Iдзнз мах пред** или ток срабатывания предыдущей ТЗНП при ее наличии

$$3I0ср2 \geq 1.2 Iдзнз \text{ мах пред} \quad (4.3)$$

4.3.3. Коэффициент чувствительности **Kч2** этой ступени ТЗНП должен определяться при токе **Iдзнз** для случая расположения одной точки КЗ в конце защищаемой линии и работе через переходное сопротивление, определяемое в соответствии с пунктом 3.3.2.

$$Kч2 = Iдзнз / 3I0ср2. \quad (4.4)$$

Значение коэффициента чувствительности должно быть **Kч2 ≥ 1.2**.

4.3.4. Время срабатывания этой ступени ТЗНП T2 выбирается по условиям отстройки на ступень селективности **ΔT** от времени действия первых ступеней предыдущих защит T1пр

$$T2 = T1пр + \Delta T, \quad (4.5)$$

Ступень селективности **ΔT** рекомендуется принимать 0,5с если согласование выполняется с электромеханическими защитами или на защищаемых присоединениях используются масляные выключатели старых типов. При согласовании с цифровыми защитами и при

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

использовании современных вакуумных выключателей с временем отключения не более 0,1с
степень селективности может быть уменьшена до 0,25-0,3с.

4.4.Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с третьей ступенью ДЗ

4.4.1.Рассматриваемая ступень ТЗНП должна использоваться, если для третьей ступени ДЗ не назначена работа по петле «Фаза ноль», иначе ее использование не обязательно.

4.4.2.Уставка по току этой (условно третьей) ступени ТЗНП выбирается по условию согласования по чувствительности с предыдущими защитами и условию отстройки от небаланса при внешних междуфазных КЗ.

4.4.3.Выбор тока срабатывания этой ступени **3I0срЗ** по условию согласования по чувствительности с предыдущими защитами выполняется так же как для второй ступени в соответствии с пунктом 4.3.2. При этом защитами, с которыми выполняется согласование, обычно оказываются вторые ступени предыдущих защит

$$3I0срЗ \geq 1.2 I_{дзнз} \max \text{ пред} \quad (4.6)$$

4.4.4.Выбор тока срабатывания этой ступени по условию отстройки от небаланса при внешних междуфазных КЗ выполняется при трехфазных КЗ в зоне действия предыдущих защит с временем срабатывания больше или равным времени срабатывания согласуемой ступени.

$$3I0срЗ \geq 0,1 I_{кз} \max , \quad (4.7)$$

где **Iкз max** – максимальный ток КЗ в зоне действия указанных предыдущих защит.

Выбор значения коэффициента 0,1 обусловлен отстройкой от небаланса, вызванного максимальной допустимой погрешностью трансформаторов тока (10%).

4.4.5.Коэффициент чувствительности **KчЗ** этой ступени ТЗНП должен определяться при КЗ в конце защищаемой линии и КЗ в конце зоны дальнего резервирования с учетом переходного сопротивление, определяемого в соответствии с пунктом 3.3.2.

$$KчЗ = I_{дзнз} / 3I0срЗ. \quad (4.8)$$

Значение коэффициента чувствительности при КЗ в конце защищаемой линии должно быть **KчЗ ≥ 1,5**, а при КЗ в зоне дальнего резервирования (в конце предыдущей линии) **KчЗ ≥ 1,2**.

4.4.6.Время срабатывания ступени ТЗНП **TЗ** выбирается по условиям отстройки на ступень селективности **ΔТ** от времени действия вторых ступеней предыдущих защит **T2пр**

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

$$T3 = T2_{пр} + \Delta T.$$

(4.9)

Степень селективности ΔT принимается так же как по пункту 4.3.4.

4.4.7. Для третьей ступени ТЗНП рекомендуется вводить автоматическое ускорение при включении выключателя.

4.5. Выбор уставок ступени ТЗНП для работы с четвертой ступенью ДЗ

Рассматриваемая ступень ТЗНП может использоваться, если используется четвертая ступень ДЗ по петле «Фаза-фаза» и при конкретных характеристиках защищаемой сети предыдущими ступенями ТЗНП не обеспечивается выполнение всех требований к указанным ступеням. Выбор уставок этой (условно четвертой) ступени по отношению к уставкам третьих ступеней выполняется по тем же правилам, по которым выполняется выбор уставок третьей ступени по отношению к уставкам вторых ступеней. При этом для защиты от двойных замыканий на землю одновременно с первыми несколькими ступенями ДЗ, обычно защиты нулевой последовательности не используются.

4.6. Выбор уставок дополнительной (последней) ступени ТЗНП, предназначенной для повышения чувствительности комплекса защит при двойных замыканиях на землю

Дополнительную ступень ТЗНП для защиты от двойных замыканий на землю с целью повышения чувствительности целесообразно использовать в связи с тем, что для указанного вида повреждения характерно повышенное переходное сопротивление в двух точках замыкания на землю. Повышенная чувствительность достигается за счет отстройки от последних (самых чувствительных), а не от предпоследних ступеней предыдущих защит. При этом для обеспечения селективности отстройка по времени также выполняется от последних (самых медленных) ступеней предыдущих защит. В результате время действия указанной ступени оказывается больше времен действия всех других защит, что является необходимой платой за повышение чувствительности.

4.6.1. Уставки по току и времени ступени выбираются по условиям согласования с последними (самыми чувствительными) ступенями предыдущих защит. Повышенная чувствительность ступени позволяет работать через большее переходное сопротивление, что особенно важно для защиты от двойных замыканий на землю.

4.6.2. Уставка по току ступени по условию согласования с предыдущими защитами выбирается аналогично второй ступени по пункту 4.3.2, но по отношению к току срабатывания последних (самых чувствительных) ступеней предыдущих защит **Idзнз max пос пред**

$$3I0_{ср} \geq 1.2 I_{дзнз \max \text{ пос пред}}$$

(4.10)

4.6.3. Так как ступень отстроена по времени от работы всех предыдущих защит, то отстройку от небаланса для нее следует проверять не при токе КЗ, а при максимальном токе нагрузки

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

$$3I_{0cp} \geq 0,1 I_{n \max},$$

(4.11)

где $I_{n \max}$ – максимальный ток нагрузки.

4.6.4. Время срабатывания последней ступени ТЗНП $T_{пос}$ выбирается по условиям отстройки на ступень селективности ΔT от времени действия всех ступеней предыдущих защит $T_{пр \max}$

$$T_{пос} = T_{пр \max} + \Delta T.$$

(4.12)

Ступень селективности ΔT принимается так же как по пункту 4.3.4.

4.6.5. За счет облегченных условий выбора тока срабатывания последней ступени, ее коэффициент чувствительности во всех режимах оказывается выше, чем у других ступеней. Его следует определять так же как в пункте 4.4.5 в конце защищаемой линии, в конце зоны дальнего резервирования и при работе через переходное сопротивление. Причем определение коэффициента чувствительности для последней ступени ТЗНП выполняется не для проверки выполнения требований по чувствительности к ступени, а только для оценки общей эффективности ее работы.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
<i>ЕАБР.656122.009 Д1</i>					

Приложение. Примеры выбора уставок

П1. Выбор уставок дистанционной защиты

Рассчитать уставки ступеней дистанционной защиты 1 в голове линии 35кВ, выполненной по схеме в соответствии с рис.П1.

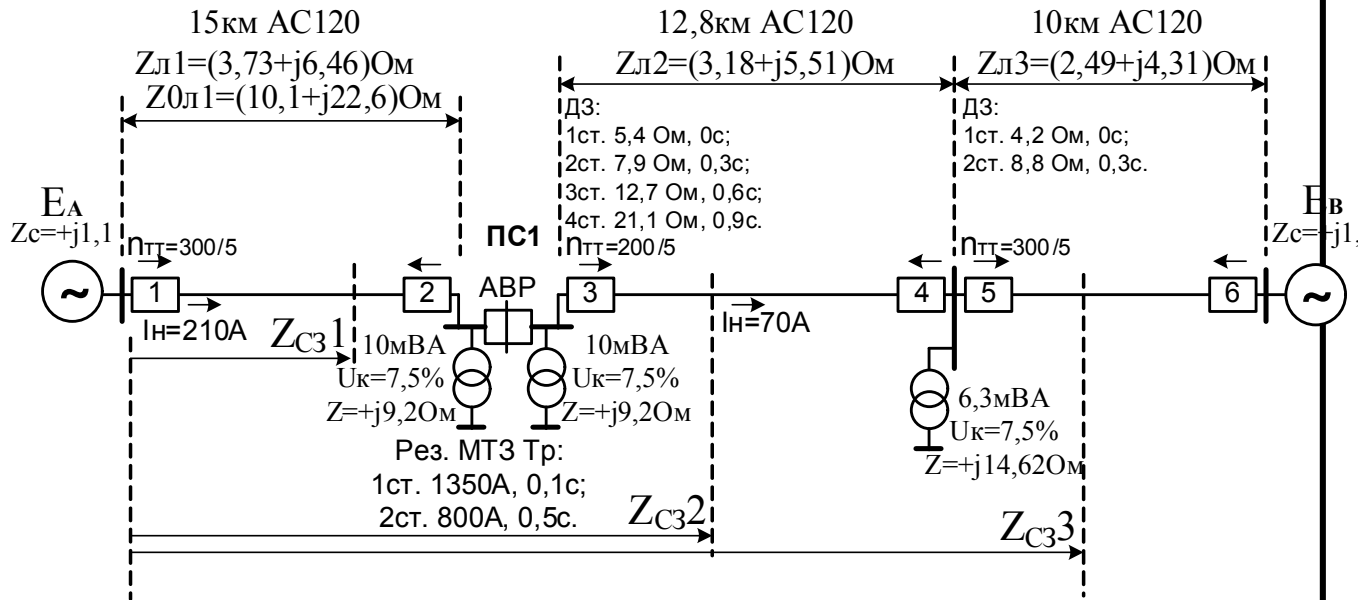


Рис. П1

Комплекс защит 35кВ ПС1 может быть выполнен так, что при пуске предыдущих защит в своем направлении блокируются последующие защиты в этом направлении с целью исключения накопления выдержек времени. При этом защиты на секционном выключателе с АВР в каждом направлении могут иметь такие же уставки, как защиты 2 и 3 на соответствующих выключателях линий. Это позволяет при выборе параметров срабатывания дистанционных защит линий 1 и 2 не рассматривать защиты секционного выключателя, так как выбор их уставок не относится к специфике выбора уставок дистанционных защит линий 35кВ.

П1.1. Выбор общих параметров срабатывания ступеней ДЗ

Выбор уставок защит выполняется для худшего режима, когда секционный выключатель с АВР на ПС1 включен и отключен выключатель в конце линии у источника В. При этом учитывается что режим питания линий может автоматически измениться в результате отключения источника А и последующей работы АВР на ПС1.

П.1.1.1. Параметры направленности ступеней ДЗ

В соответствии с рекомендациями методических указаний для всех ступеней ДЗ принимаем значение угла максимальной чувствительности $\varphi_{мч}=50^\circ$, значение ширины зоны $\varphi_{зоны}=110^\circ$ (для характеристики в виде сектора круга) или коэффициент сжатия эллипса 1

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

(для эллиптической характеристики, сжатие отсутствует). Вид характеристики рекомендуется принять такой же, как у предыдущих и (или) последующих защит, что обеспечивает более точное согласование с ними.

П1.1.2. Выбор коэффициента компенсации фазного тока током нулевой последовательности ступеней ДЗ

В соответствии с рекомендациями коэффициент компенсации **K**, общий для всех ступеней ДЗ, принимаем по сопротивлениям прямой Z1 и нулевой Z0 последовательности первого участка линии

$$K = (Z_0 - Z_1) / Z_1 = (10,1 + j22,6 - 3,73 - j6,46) / (3,73 + j6,46) = (6,37 + j16,14) / (3,73 + j6,46) = 17,35e^{j68^\circ} / 7,46e^{j60^\circ} = 2,33e^{j8^\circ} = 2,3 + j0,32.$$

П1.2. Первая ступень ДЗ

П1.2.1. Выбор уставки по сопротивлению Zсз1 производится по условию отстройки действия защиты от всех видов КЗ за пределами линии (месте установки предыдущих защит) и охвата 85% полного сопротивления линии Zл:

$$Z_{сз1} = 0,85Z_{л} = 0,85(3,73 + j6,46) = 3,17 + j5,49;$$

$$Z_{сз1} = \sqrt{3,17^2 + 5,49^2} = 6,34 \text{ Ом.}$$

П1.2.2. Время срабатывания первой ступени T1 принимаем равным нулю:

$$T1 = 0.$$

П1.2.3. Действие первой ступени назначим по петлям «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.3. Вторая ступень ДЗ

П1.3.1. Выбор уставки по сопротивлению по условию отстройки от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, выполняется в соответствии с выражением

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z_{пс}$$

Сопротивление Zпс от места установки защиты до шин низшего напряжения подстанции

$$Z_{пс} = 3,73 + j6,46 + j9,2 = 3,73 + j15,66;$$

$$Z_{пс} = \sqrt{3,73^2 + 15,66^2} = 16,1 \text{ Ом.}$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
27

$$Z_{сз2} \leq 0,85 \times 16,1 = 13,68 \text{ Ом.}$$

П1.3.2. Для согласования второй ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимают ступень, время действия которой, меньше времени действия согласуемой ступени. Обычно для второй ступени такой является первая ступень предыдущей защиты.

Сопротивление срабатывания 1ст. предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 3,81 Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как защищаемая предыдущая линия Л2. С учетом модуля полного сопротивления линии

$$Z_{л2} = \sqrt{3,18^2 + 5,51^2} = 6,36 \text{ Ом}$$

комплекс сопротивления линии Л2 до точки срабатывания ее первой ступени составит

$$5,4 \times 3,18 / 6,36 + j 5,4 \times 5,51 / 6,36 = 2,7 + j 4,68.$$

Сопротивление Z от точки установки защиты 1 до указанной точки линии, при КЗ в которой срабатывает первая ступень предыдущей ДЗ, составит

$$Z = 3,73 + j 6,46 + 2,7 + j 4,68 = 6,43 + j 11,14;$$

$$Z = \sqrt{6,43^2 + 11,14^2} = 12,86 \text{ Ом}$$

Для выполнения условия согласования

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z = 0,85 \times 12,86 = 10,93 \text{ Ом.}$$

Ток срабатывания резервной защиты трансформатора ПС1, которая также является предыдущей по отношению к рассчитываемой дистанционной защите 1, составляет 1350 А.

Полное сопротивление петли КЗ, соответствующее этому току срабатывания при трехфазном КЗ составит

$$Z = U_n / \sqrt{3} I_{ср} = 35000 / \sqrt{3} \times 1350 = 14,97 \text{ Ом.}$$

Условие согласования

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

$$Z_{сз2} \leq 0,85Z = 0,85 \times 14,97 = 12,70 \text{ Ом.}$$

П1.3.3.Принимаем в качестве сопротивления срабатывания 2 ст. худшее из полученных условий согласования и отстройки от КЗ на шинах низшего напряжения подстанции

$$Z_{сз2} = 10,93 \text{ Ом.}$$

П1.3.4.Проверяем полученное значение сопротивления срабатывания второй ступени по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце линии через переходное сопротивление дуги.

Ток в дуге при КЗ в конце зоны защиты

$$I = U_n / \sqrt{3} Z_{сз2} = 35000 / \sqrt{3} \times 10,93 = 1849 \text{ А.}$$

Длину дуги для второй ступени (3-5 расстояний между фазами) при расстоянии между фазами 1,4м принимаем $\ell_d = 4,2 \text{ м}$. Минимальное из рекомендованных значений длины дуги при работе второй ступени принято потому, что выдержка времени второй ступени имеет достаточно малое значение (0,3с), что снижает выдувание дуги ветром.

$$\text{Сопротивление дуги } R_d = 1050 \ell_d / I = 1050 \times 4,2 / 1849 = 2,38 \text{ Ом.}$$

$$\text{Переходное сопротивление } R_{п} = 0,5 R_d = 1,19 \text{ Ом.}$$

Расчетное сопротивление линии с учетом переходного сопротивления дуги

$$Z_{л \text{ рас}} = \sqrt{X_{л}^2 + (R_{л} + R_{пер})^2} = \sqrt{6,46^2 + (3,73 + 1,19)^2} = 8,12 \text{ Ом}$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности $k_{ч} = 1,25$

$$Z_{сз2} \geq k_{ч} Z_{л \text{ рас}} = 1,25 \times 8,12 = 10,15$$

$$10,93 > 10,15.$$

Условие выполняется.

П1.3.5. Время срабатывания второй ступени T_2 принимаем на ступень селективности больше времени действия первой ступени предыдущей защиты:

$$T_2 = 0,3 \text{ с.}$$

П1.3.6. Действие второй ступени назначим по петлям «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Инд. № дубл.	Взам. инв. №
Инд. № инв.	Подп. и дата
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	Дата

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист

29

П1.3.7.Для второй ступени вводим автоматическое ускорение при ручном включении выключателя и после АПВ.

П1.4.Третья ступень ДЗ

П.1.4.1.Выбор уставки по сопротивлению $Z_{сз3}$ по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит.

Для согласования третьей ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимаем вторую ступень защиты 3, время действия которой (0,3с), меньше времени действия согласуемой ступени. Для выполнения условия согласования сопротивление Z от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z.$$

Сопротивление срабатывания 2ст. предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 7,9Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как защищаемая предыдущая линия Л2. С учетом модуля полного сопротивления линии

$$Z_{л2} = \sqrt{3,18^2 + 5,51^2} = 6,36 \text{ Ом},$$

комплекс сопротивления от места установки защиты 3 до точки срабатывания ее второй ступени составит

$$7,9 \times 3,18 / 6,36 + j 7,9 \times 5,51 / 6,36 = 3,95 + j 6,84.$$

При этом пренебрегают возможным различием соотношений активной и реактивной составляющей для линии 2 и линии 3, начало которой охватывает зона 2ст. защиты 3.

Сопротивление Z от точки установки защиты 1 до указанной точки линии, при КЗ в которой срабатывает вторая ступень предыдущей защиты 3, составит

$$Z = 3,73 + j 6,46 + 3,95 + j 6,84 = 7,68 + j 13,3;$$

$$Z = \sqrt{7,68^2 + 13,3^2} = 15,36 \text{ Ом}$$

Для выполнения условия согласования

$$Z_{сз3} \leq 0,85Z = 0,85 \times 15,36 = 13,06 \text{ Ом}.$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
30

П.1.4.2.Проверка условия отстройки от нагрузки.

Сопротивление нагрузки Z_H , от которого должна быть отстроено сопротивление срабатывания ступеней ДЗ

$$Z_H = 0,85 U_{\text{мин}} / \sqrt{3} I_{H \text{ макс}}$$

Принимая минимальное напряжение на 10% меньше номинального напряжения сети, получим

$$Z_H = 0,85 \times 0,9 \times 35000 / \sqrt{3} \times 210 = 73,6 \text{ Ом.}$$

Отстройка заведомо выполняется, вводить функцию отстройки от нагрузки нет необходимости.

П1.4.3.Принимаем сопротивление срабатывания 3 ст.

$$Z_{сз3} = 13,06 \text{ Ом.}$$

П1.4.4.Проверяем полученное значение сопротивления срабатывания третьей ступени по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце линии через переходное сопротивление дуги.

Ток в дуге при КЗ в конце зоны защиты

$$I = U_H / \sqrt{3} Z_{сз3} = 35000 / \sqrt{3} \times 13,06 = 1547 \text{ А.}$$

Длину дуги для второй ступени (7-10 расстояний между фазами) при расстоянии между фазами 1,4м принимаем $\ell_d = 9,8$ м. Минимальное из рекомендованных значений длины дуги при работе второй ступени принято потому, что выдержка времени второй ступени имеет достаточно малое значение (0,3с), что снижает выдувание дуги ветром.

Сопротивление дуги $R_d = 1050 \ell_d / I = 1050 \times 9,8 / 1547 = 6,65 \text{ Ом.}$

Переходное сопротивление $R_n = 0,5 R_d = 3,32 \text{ Ом.}$

Расчетное сопротивление линии с учетом переходного сопротивления дуги

$$Z_{л \text{ рас}} = \sqrt{X_l^2 + (R_l + R_{пер})^2} = \sqrt{6,46^2 + (3,73 + 3,32)^2} = 9,56 \text{ Ом}$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности $k_{ч} = 1,5$

$$Z_{сз3} \geq k_{ч} Z_{л \text{ рас}} = 1,5 \times 9,56 = 14,34$$

$$13,06 < 14,3$$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
31

Необходимая чувствительность третьей ступени при КЗ в конце линии через переходное сопротивление с учетом вытягивания дуги за время действия Зст не обеспечивается. Поэтому для обеспечения чувствительности дополнительно применим 4ст.

П1.4.5. Проверку чувствительности третьей ступени при КЗ на шинах низшего напряжения подстанции, расположенной в конце защищаемой линии, не выполняем, так как предыдущее условие обеспечения чувствительности этой ступени не выполняется и для обеспечения необходимой чувствительности все равно должна вводиться дополнительная четвертая ступень.

П1.4.6. Время срабатывания третьей ступени **T3** принимаем на ступень селективности больше времени действия второй ступени предыдущей защиты:

$$T3=0,6с.$$

П1.4.7. Действие третьей ступени назначим по петле «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.5. Четвертая ступень ДЗ

П1.5.1. Выбор уставки по сопротивлению **Zсз** по условию отстройки по чувствительности от ступеней предыдущих защит.

Для согласования четвертой ступени по чувствительности с предыдущими защитами находят точку сети, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания ступени предыдущей дистанционной защиты или ток трехфазного КЗ в которой, соответствует току срабатывания ступени предыдущей токовой защиты. В качестве ступени предыдущей защиты (с которой выполняется согласование) принимаем третью ступень защиты 3, время действия которой (0,6с), меньше времени действия согласуемой ступени. Для выполнения условия согласования сопротивление **Z** от точки установки рассчитываемой ступени ДЗ до найденной точки сети должно соответствовать требованию

$$Z_{сз4} \leq 0,85Z.$$

Сопротивление срабатывания Зст. предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 11,4 Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как сумма сопротивлений линий Л2 и Л3 (они обе охватываются зоной указанной Зст). С учетом комплекса сопротивления линий Л2 и Л3

$$Z_{Л2,3} = 3,18 + 2,49 + j(5,51 + 4,31) = 5,67 + j9,82$$

Инд. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инд. № дубл.	Инд. № подл.
	Подп. и дата
Инд. № подл.	Инд. № подл.
	Изм Лист

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

и его модуля

$$Z_{л2,3} = \sqrt{(5,67^2 + 9,82^2)} = 11,34 \text{ Ом,}$$

комплекс сопротивления от места установки защиты 3 до точки срабатывания ее третьей ступени составит

$$12,7 \times 5,67 / 11,34 + j 12,7 \times 9,82 / 11,34 = 6,35 + j 11.$$

Сопротивление Z от точки установки защиты 1 до указанной точки линии, при КЗ в которой срабатывает третья ступень предыдущей защиты 3, составит

$$Z = 3,73 + j 6,46 + 6,35 + j 11 = 10,08 + j 17,35;$$

$$Z = \sqrt{(10,08^2 + 17,35^2)} = 20,07 \text{ Ом}$$

Для выполнения условия согласования

$$Z_{сз4} \leq 0,85Z = 0,85 \times 20,07 = 17,06 \text{ Ом.}$$

П.1.5.2. Проверка условия отстройки от нагрузки.

Сопротивление нагрузки Z_n , от которого должна быть отстроено сопротивление срабатывания ступеней ДЗ составляет 73,6 Ом (см. пункт П.1.4.2).

Отстройка заведомо выполняется, вводить функцию отстройки от нагрузки нет необходимости.

П1.5.3. В соответствии с худшим из рассмотренных условий

$$Z_{сз4} = 17,06 \text{ Ом.}$$

П1.5.4. Проверяем полученное значение сопротивления срабатывания четвертой ступени по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце линии через переходное сопротивление дуги.

Ток в дуге при КЗ в конце зоны защиты

$$I = U_n / \sqrt{3} Z_{сз4} = 35000 / \sqrt{3} \times 17,06 = 1184 \text{ А.}$$

Длину дуги для четвертой ступени (7-10 расстояний между фазами) при расстоянии между фазами 1,4 м принимаем $\epsilon_d = 9,8 \text{ м.}$

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
33

Сопrotивление дуги $R_d = 1050 \text{ В} / I = 1050 \times 9,8 / 1184 = 8,69 \text{ Ом}$.

Переходное сопротивление $R_n = 0,5 R_d = 4,35 \text{ Ом}$.

Расчетное сопротивление линии с учетом переходного сопротивления дуги

$$Z_{л \text{ рас}} = \sqrt{X_l^2 + (R_l + R_{пер})^2} = \sqrt{6,46^2 + (3,73 + 4,35)^2} = 10,34 \text{ Ом}$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности $k_{ч} = 1,5$

$$Z_{сз4} \geq k_{ч} Z_{л \text{ рас}} = 1,5 \times 10,34 = 15,51$$

$$17,06 > 15,51,$$

условие выполняется.

П1.5.5. Проверяем возможность обеспечения дальнего резервирования четвертой ступенью

В соответствии с пунктом П1.3.1 сопротивление $Z_{пс}$ от места установки защиты до шин низшего напряжения подстанции

$$Z_{пс} = 16,1 \text{ Ом};$$

Условие обеспечения необходимого коэффициента чувствительности при дальнем резервировании до шин низшего напряжения подстанции, расположенной в конце линии, $k_{ч} = 1,2$:

$$Z_{сз4} \geq k_{ч} Z_{пс} = 1,2 \times 16,1 = 19,3 \text{ Ом}.$$

Выполнение этого условия и принятие $Z_{сз4} = 19,3 \text{ Ом}$ противоречит условию согласования по чувствительности с третьей ступенью предыдущей защиты 3 (пункт П1.5.1, $Z = 20,07 \text{ Ом}$) с необходимым коэффициентом надежности отстройки. Это делает вероятным неселективную работу 4ст. защиты 1 с третьей ступенью защиты 3 в некоторой зоне вблизи порога срабатывания последней. Однако, учитывая что указанная зона вероятной неселективной работы попадает в зону срабатывания 2ст. защиты 5, являющейся предыдущей по отношению к защите 3 и имеющей время срабатывания меньше чем защиты 1 и 3, указанная неселективная работа не имеет значения, так как в зоне ее возможного существования будет работать защита 5, а не защита 1 или защита 3.

Окончательно принимаем сопротивление срабатывания 4 ступени

$$Z_{сз4} = 19,3 \text{ Ом}.$$

П1.5.6. Время срабатывания четвертой ступени T_4 принимаем на ступень селективности больше времени действия третьей ступени предыдущей защиты:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

$T4=0,9с.$

П1.5.7. Действие ступени назначим по петле «Фаза-фаза-ноль» для работы при междуфазных КЗ и двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П1.6. Определение уставок блокировки при неисправности цепей напряжения (БНН)

П1.6.1. Уставку по напряжению небаланса в алгоритме по схеме треугольник-звезда примем **10 В** (вторичное значение).

П1.6.2. Контроль по составляющим прямой последовательности предназначен для выявления повреждения цепей напряжения с полным исчезновением напряжения в трех фазах (например, отключение автомата или обрыв контрольного кабеля). При работе по составляющим прямой последовательности, устройство контролирует соотношение напряжения и тока прямой последовательности. Если напряжение прямой последовательности ниже 1 В и при этом ток прямой последовательности больше уставки по току нижней границы и меньше уставки по току верхней границы, то БНН сработает по прямой последовательности.

Уставка по току нижней границы I_{1min} - уровень тока для обнаружения обесточенного состояния ВЛ, должна быть отстроена от наведенных токов на отключенной линии:

$$I_{1min} \geq k_{отс} \cdot I_{нв} ,$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки;

$I_{нв}$ - суммарный наведенный ток на отключенной линии.

В соответствии с рекомендациями примем данную уставку

$$I_{1min} = 0,1 I_{ном.} = 0,1 \times 300 = 30A \text{ (первичное значение).}$$

Уставка по току верхней границы I_{1max} должна с запасом превышать максимальный ток нагрузки I_n :

$$I_{1max} = k_з \cdot I_n = 1,2 \times 210 = 250A,$$

где: $k_з$ - коэффициент запаса, $k_з = 1,1-1,2$.

3.4.3. Контроль по составляющим обратной последовательности основан на появлении напряжения обратной последовательности при отсутствии тока обратной последовательности.

Инд. № подп	Подп. и дата	Инд. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕАБР.656122.009 Д1	Лист
											35

Уставка по напряжению обратной последовательности U_2 должна быть отстроена от небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений. Примем

$$U_2 = 10V \text{ (вторичное значение).}$$

Уставка по току обратной последовательности I_2 должна быть отстроена от несимметрии токов нагрузки

$$I_2 = k_3 \cdot I_{2н6},$$

где: k_3 – коэффициент запаса, $k_3 = 1,5-3$;

$I_{2н6}$ – ток обратной последовательности, обусловленный несимметрией нагрузки.

Ток $I_{2н6}$ определяется через максимальный ток нагрузки $I_{н \max}$ согласно выражения:

$$I_{2н6} = 0,1 I_{н \max} = 0,1 \times 210 = 21A;$$

$$I_2 = 3 \times 21 = 63A \text{ (первичное значение)}$$

При этом уставка по току обратной последовательности заведомо меньше минимального тока обратной последовательности при любом несимметричном КЗ, что исключает работу блокировки при несимметричных КЗ.

П2. Выбор уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП)

П2.1. Параметрирование и выбор общих параметров срабатывания ступеней ТЗНП

П2.1.1. Первую и вторую ступень ЗНЗ назначим на работу по измеренному току нулевой последовательности и используем в качестве защиты от замыканий на землю в сети с малыми токами замыкания на землю.

П2.1.2. Третью ступень ЗНЗ назначим на работу по напряжению нулевой последовательности и используем для неселективной сигнализации замыканий на землю.

П2.1.3. Четвертую ступень ЗНЗ назначим на работу по расчетному току нулевой последовательности и используем как дополнительную ступень ТЗНП, предназначенную для повышения чувствительности всего комплекса защит при двойных замыканиях на землю на разных линиях.

П2.1.4. Угол максимальной чувствительности четвертой ступени ТЗНП примем 65° , ширину зоны срабатывания примем 170° , гистерезис по углу примем 5° .

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

П2.2.Выбор уставок 4 ступени ТЗНП

П2.2.1.Уставка по току ступени по условию согласования с предыдущими защитами выбирается по отношению к току срабатывания последних (самых чувствительных) ступеней предыдущих защит **Идзнз мах пос пред**

$$3I_{0cp4} \geq 1.2 I_{дзнз мах пос пред}$$

Сопrotивление срабатывания последней (четвертой) ступени предыдущей дистанционной защиты 3 (см рис.) величиной 20,1 Ом делится на составляющие (активная и реактивная) так же как сумма сопротивлений линий Л2 и Л3 (они обе охватываются зоной указанной 4ст). С учетом комплекса сопротивлений линий Л2 и Л3

$$Z_{л2,3} = 3,18 + 2,49 + j(5,51 + 4,31) = 5,67 + j9,82$$

и его модуля

$$Z_{л2,3} = \sqrt{5,67^2 + 9,82^2} = 11,34 \text{ Ом,}$$

комплекс сопротивления от места установки защиты 3 до точки срабатывания ее четвертой ступени составит

$$20,1 \times 5,67 / 11,34 + j 20,1 \times 9,82 / 11,34 = 10,05 + j17,41.$$

Сопrotивление **Z** полной петли КЗ двойного замыкания на землю, когда одна точка находится на шинах перед местом установки защиты 1, а вторая, сопротивление при КЗ в которой соответствует порогу срабатывания четвертой ступени предыдущей дистанционной защиты, составит

$$Z = j(2 \times 1,1) + 3,73 + j6,46 + 10,05 + j17,41 = 13,78 + j26,07;$$

его модуль

$$Z = \sqrt{13,78^2 + 26,07^2} = 29,49 \text{ Ом.}$$

Тогда ток двойного замыкания на землю в этом режиме составит

$$I_{дзнз мах пос пред} = U_n / Z = 35\,000 / 29,49 = 1187 \text{ А.}$$

Ток срабатывания четвертой ступени ТЗНП

$$3I_{0cp4} \geq 1.2 I_{дзнз мах пос пред} = 1,2 \times 1187 \text{ А} = 1424 \text{ А.}$$

П2.2.2.Время срабатывания 4ст. ТЗНП по условиям отстройки от времен предыдущих защит принимается 1,2с.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

Лист
37

П2.2.3. Коэффициент чувствительности 4ст. ТЗНП определим при двойном замыкании на землю через сопротивление заземления опоры 10 Ом

$$K_{ч4} = I_{дзнз} / 3I_{0ср4}$$

Сопротивление Z полной петли КЗ двойного замыкания на землю в конце линии 1 через указанное сопротивление заземления опоры

$$Z = 2(J_{1,1} + 3,73 + J_{6,46}) + 10 = 17,46 + J_{15,12};$$

Его модуль

$$Z = \sqrt{(17,46^2 + J_{15,12}^2)} = 23,09 \text{ Ом.}$$

Ток при двойном замыкании на землю в указанном режиме

$$I_{дзнз} = U_n / Z = 35\,000 / 23,09 = 1516 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности

$$K_{ч4} = I_{дзнз} / 3I_{0ср4} = 1516 / 1424 = 1,06.$$

Полученное значение коэффициента чувствительности при двойном замыкании на землю через повышенное сопротивление заземления опоры с учетом выбора тока срабатывания ТЗНП по условию согласования по чувствительности с последней ступенью предыдущей дистанционной защиты показало не эффективность ТЗНП для такого случая. Эффективность ТЗНП может быть повышена многократно при условии оснащения всех предыдущих защит аналогичными дополнительными ступенями ТЗНП. В этом случае выбор токов срабатывания ТЗНП на всех присоединениях может определяться только условиями отстройки от небалансов и согласования по чувствительности с предыдущими ТЗНП.

Так пусть защита 3 оснащена дополнительной ступенью ТЗНП с током срабатывания 325 А (выбран по наилучшим условиям отстройки от небаланса при максимальном токе КЗ в месте установки защиты и обеспечения чувствительности). Тогда ток срабатывания дополнительной ступени ТЗНП защиты 1 по условию согласования по чувствительности со ступенью ТЗНП предыдущей защиты 3

$$3I_{0ср4} \geq 1,2 I_{дзнз \text{ мах пос пред}} = 1,2 \times 325 = 390 \text{ А.}$$

Условие отстройки от небаланса тока нагрузки

$$3I_{0ср4} \geq 0,1 I_n \text{ мах} = 0,1 \times 210 = 21 \text{ А}$$

выполняется.

Коэффициент чувствительности ступени ТЗНП защиты 1 определим для самого худшего случая в режиме дальнего резервирования и замыкания через сопротивления заземления

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЕАБР.656122.009 Д1

двух опор в обеих точках замыкания в конце линии 2. Тогда сопротивление полной петли КЗ двойного замыкания на землю составит

$$Z = 2(J_{1,1} + 3,73 + J_{6,46} + 3,18 + J_{5,51} + 10) = 33,82 + J_{26,14};$$

его модуль

$$Z = \sqrt{(33,82^2 + J_{26,14}^2)} = 42,74 \text{ Ом.}$$

Ток при двойном замыкании на землю в указанном режиме

$$I_{дзнз} = U_n / Z = 35\,000 / 42,74 = 819 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности

$$K_{ч4} = I_{дзнз} / 3I_{0ср4} = 819 / 390 = 2,1.$$

Литература

1. Дьяков А.Ф, Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. М., Издательство МЭИ, 2000.

2. С. А. Гондуров, Е. В. Илюхин, М. Г. Пирогов, А. Л. Соловьёв. Ступенчатые дистанционные защиты линий электропередачи 35–220 кВ. Методика расчёта. ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ (ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»). КАФЕДРА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, СЕТЕЙ И СИСТЕМ. Санкт-Петербург, 2013.

3. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35–330 кВ. М. «Энергия», 1966.

4. М.А. Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Ленинград. Энергоатомиздат, 1985.

5. Методические указания по выбору уставок токовых защит обратной последовательности (ТЗОП) всех типов терминалов серий РС83 и РС830 для сетей 6–110 кВ. «РЗА СИСТЕМЗ», 2017.

6. Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов КЗ и токовых защит терминала РС830-ДЗ «РЗА СИСТЕМЗ» при использовании их в качестве основной/резервной защиты от всех видов КЗ на ВЛ 110–150 кВ. «РЗА СИСТЕМЗ», 2016

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕАБР.656122.009 Д1