РЗА СИСТЕМЗ

ДКПП 27.12.10
(код продукции)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ УСТАВОК МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ РС830-ДЗ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ЕАБР.656122.001 Д1

(РЕДАКЦИЯ 1.2)

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1 Дистанционные защиты, реагирующие на полные токи и напряжения устройства РС830-ДЗ 3

1.1 Общие подходы к организации ступенчатых дистанционных защит и особенности дистанционной защиты серии РС830 3

1.2 Порядок выбора уставок ступеней дистанционной защиты 11

1.2.1 Первая зона 11

1.2.2 Вторая и нулевая зоны 12

1.2.3 Третья зона 20

1.2.4 Поведение ступеней дистанционной защиты при неисправности цепей напряжения 23

1.3 Блокировка при качаниях 28

1.4 Контроль цепей напряжения 36

2 Защиты нулевой последовательности от замыканий на землю устройства РС830-ДЗ 40

2.1 Организация защит нулевой последовательности 40

2.2 Выбор уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП) 41

2.2.1 Первая ступень 41

2.2.2 Вторая ступень 44

2.2.3 Третья ступень 46

2.2.4 Четвертая ступень 48

Литература 50

1 Дистанционные защиты, реагирующие на полные токи и напряжения устройства РС830-ДЗ

1.1 Общие подходы к организации ступенчатых дистанционных защит и особенности дистанционной защиты серии РС830

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.

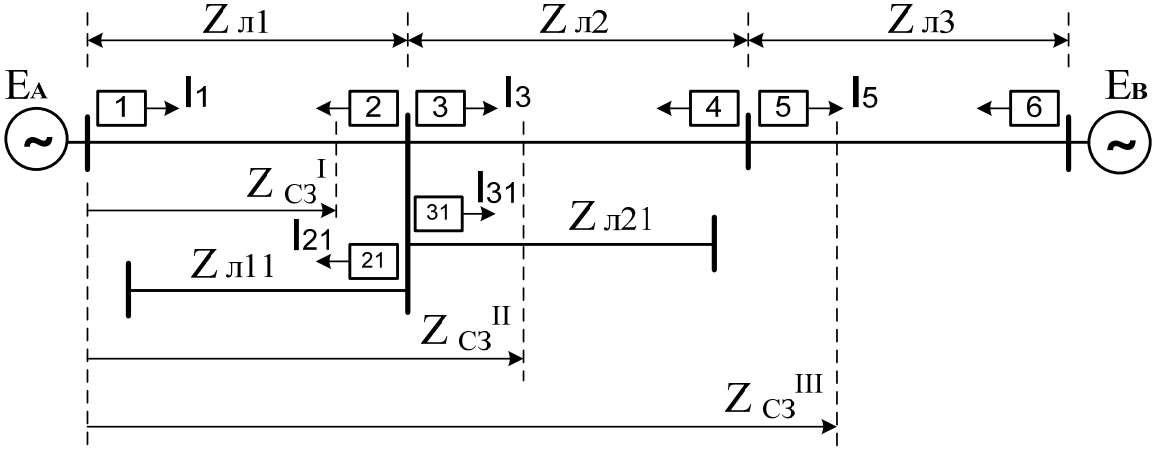

Рисунок 1 – Схема согласования дистанционных защит

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 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 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 РС830-ДЗ по принципу своего устройства одинаково реагирует на любой вид КЗ в одной и той же точке.

Каждая ступень дистанционной защиты устройства РС830-ДЗ может иметь любую из трех видов характеристик на комплексной плоскости (рис.2).

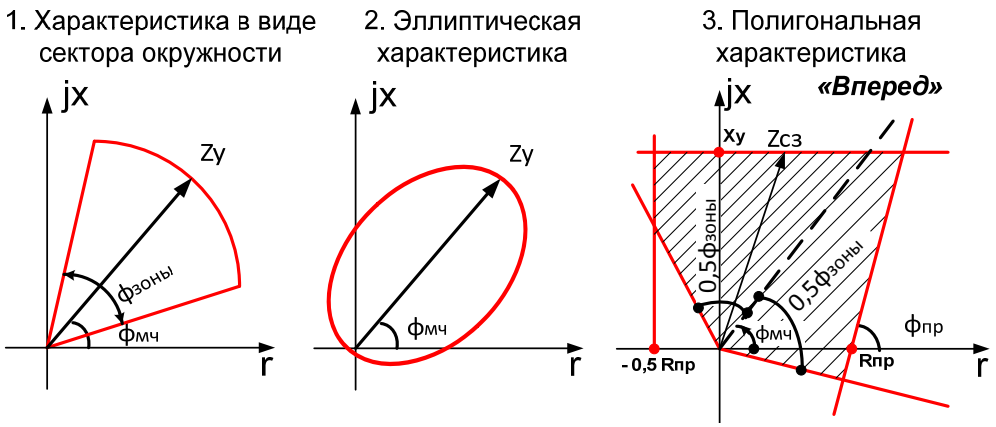

Рисунок 2 – Характеристики ДЗ

Полигональная характеристика 3 имеет ряд преимуществ, поэтому в дальнейшем изложении предполагается использование в первую очередь этой характеристики. Характеристики 1 и 2 предпочтительно использовать при замене старых защит с подобными характеристиками без пересчета уставок.

Для защиты в первой зоне используется дистанционная отсечка без выдержки времени. Ее уставка $Z_{\text{сз}}^{\text{I}}$ (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.

Действие ступеней, обеспечивающих вторую зону защиты, своей уставкой $Z_{\text{сз}}^{\text{II}}$ (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. Кроме того, для ступеней второй зоны должно проверятся условие отстройки от сопротивления нагрузки.

Ступени защиты третьей зоны своей уставкой $Z_{\text{сз}}^{\text{III}}$ 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 обычно не позволяет обеспечить отстройку от нагрузки по сопротивлению). Отстройка от нагрузки по углу может осуществляться соответствующим выбором значений угла максимальной чувствительности и ширины зоны срабатывания (при этом возможно вырождение характеристики в треугольную) или введением функции отстройки от нагрузки, имеющейся в устройстве (см. рис.3).

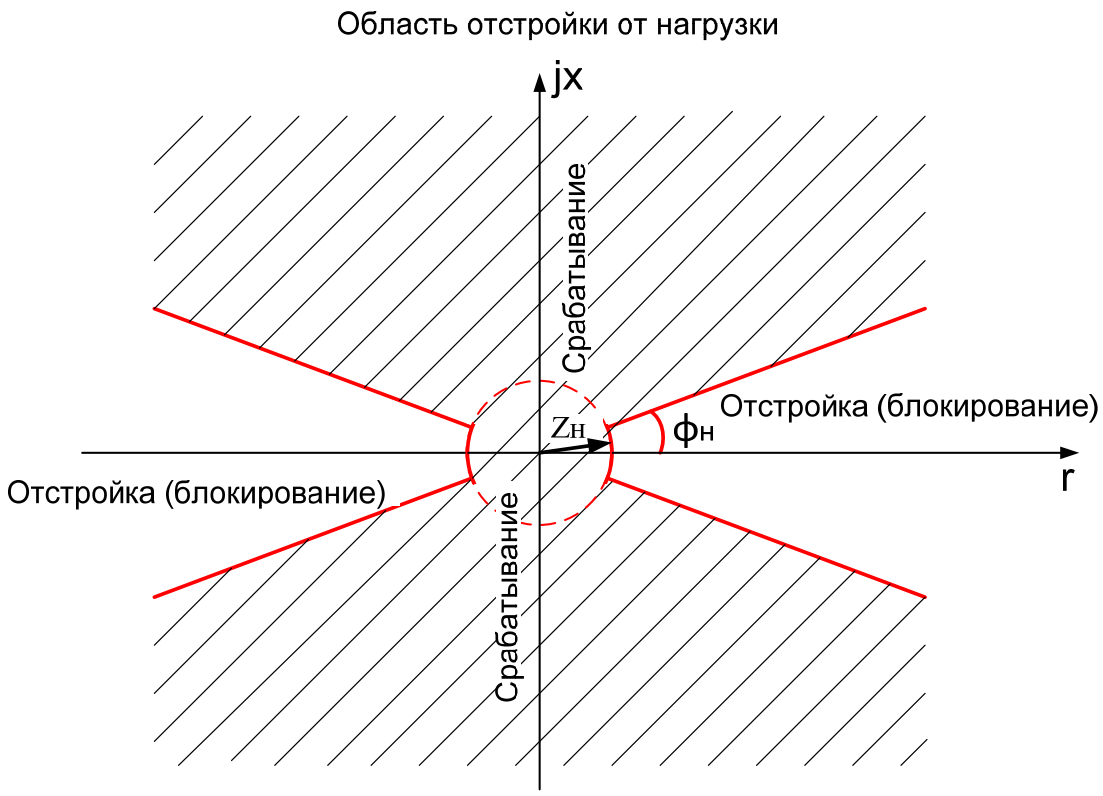

Рисунок 3 – Отстройка от нагрузки

С учетом рекомендаций Л.2, для полигональной характеристики во всех зонах следует выбрать уставки, обеспечивающие:

1) наклон правой стороны характеристики (граница 2)

$$\Phi_{\text{пр}} = \Phi_{\text{л}} - 5^{\circ}, \qquad (1)$$

где $\Phi_{\text{л}} = arctg(X_{\text{л}}/R_{\text{л}})$ – угол импеданса прямой последовательности линии;

2) угол границы 3 – минус 5° по отношению к оси r;

3) угол границы 4 – 15° по отношению к оси j_x.

При принятой форме полигональной характеристики устройства РС830-ДЗ для выполнения условий 2 и 3 необходимо принять уставки $\Phi_{\text{зоны}} = 110^{\circ}$, $\Phi_{\text{мч}} = 50^{\circ}$.

Характеристика с такими значениями уставок изображена на рис.4.

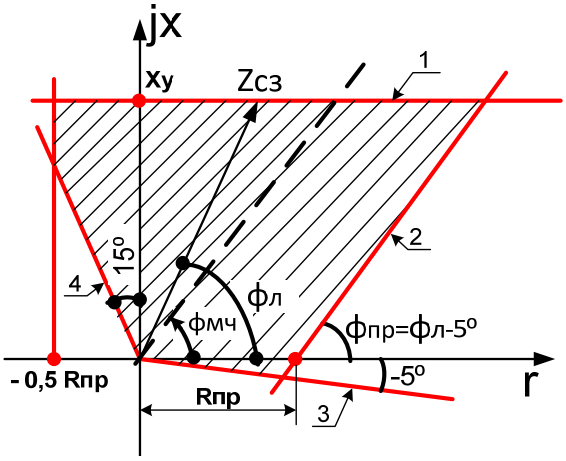

Рисунок 4 – Полигональная характеристика при $\Phi_{зоны} = 110^{\circ}$, $\Phi_{мч} = 50^{\circ}$.

В этом случае следует понимать, что угол максимальной чувствительности для полигональной характеристики является величиной условной, предназначенной совместно с уставкой по ширине зоны срабатывания $\Phi_{зоны}$ только для задания необходимого положения границ 3 и 4 характеристики. Реальное максимальное значение сопротивления срабатывания оказывается не при значении $\Phi = \Phi_{мч}$, а в точке пересечения границ 1 и 2. Эта точка соответствует КЗ в конце зоны защиты через переходное сопротивление, величиной $R_{пр}$. Указанное расположение правой границы зоны срабатывания расширяет зону в сторону активных составляющих для охвата КЗ через переходное сопротивление при любом сочетании импеданса линии с его углом и переходного сопротивления, имеющего активный характер.

Для отключения КЗ на шинах «За спиной» устройством РС830-ДЗ (например, для защиты 3 при питании от источника Ев и КЗ между защитой 3 и одной из защит 2, 21 или 31) предлагается вместо смещения характеристики зоны 2 в третий квадрант использовать отдельные ступени, организующие нулевую зону защиты. При этом указанные ступени могут иметь характеристику 1 с выведенной направленностью (круг с центром в начале координат). Для выполнения условий согласования ступени нулевой зоны следует выполнять с временем действия, превышающим на ступень селективности уставку по

времени первой зоны защиты своей линии и первых зон всех защит «За спиной». Выбор сопротивления срабатывания для ступеней нулевой 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). Преимуществом ступеней нулевой зоны с выведенной направленностью является их однозначная работа независимо от величины рабочего напряжения, которое в этой зоне может приближаться к нулю и не позволять правильно работать направленным ступеням. Совместное расположение характеристик для зон 0 и 2 показано на рис.5. Следует отметить, что уставки по времени для зон 2 и 0 обычно одинаковые и совпадают с уставкой исходной зоны 2 со смещением согласно Л2.

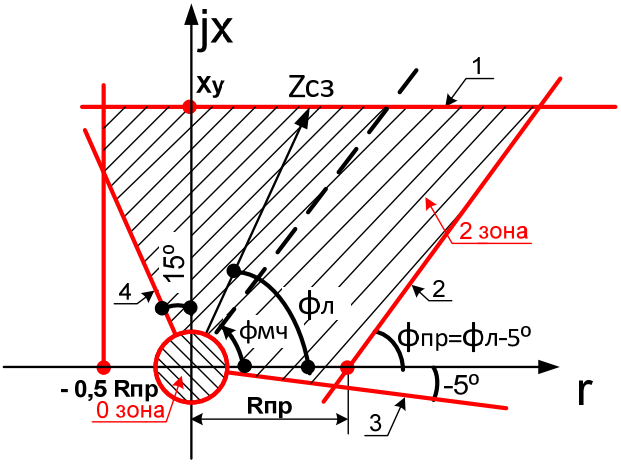

Рисунок 5 – Реализация характеристики, заменяющей смещение в третий квадрант

Специфическая форма полигональной характеристики позволяет выбирать параметры срабатывания по осям j_x и r независимо друг от друга. При этом $Z_{сз}$, соответствующее расчетной петле металлического КЗ, однозначно определяется значением X_y и углом импеданса линии $\Phi_л$. Указанный угол в общем случае может определяться импедансом нескольких последовательных участков линии, последовательно соединенной линии и трансформатора и пр.

Расположение правой границы зоны срабатывания 2 под углом $\Phi_{пр} = \Phi_л - 5^\circ$ позволяет с запасом в 5° всегда попадать петле металлического КЗ с углом $\Phi_л$ в зону срабатывания, а наличие смещения указанной границы в право на величину $R_{пр}$ дополнительно обеспечивает попадание в зону и при КЗ через переходное сопротивление, величиной не более $R_{пр}$. При таком построении характеристики конец вектора $Z_{сз}$ с углом $\Phi_л$ всегда попадает на границу 1 зоны срабатывания. Поэтому

$$z_{сз} = \frac{X_y}{\sin \Phi_л}, \qquad (2)$$

Положение границы 2 правой стороны характеристики однозначно определяется уставкой $\Phi_{пр} = \Phi_л - 5^\circ$ (т.е. в конечном итоге – $\Phi_л$) и уставкой $R_{пр}$. Значение $R_{пр}$ определяется условиями работы через переходное сопротивление и условием отстройки от сопротивления нагрузки в установившемся режиме или при самозапуске двигателей. Определяющим при работе через переходное сопротивление обычно является сопротивление дуги. При этом согласно Л2:

$$R_д = \frac{2l_д(Z_с + Z_{сз})}{\frac{U_л}{2500} - l_д},$$

$$R_{пр} = \frac{k_н R_д}{2k_т},$$

$$R_{пр} = \frac{k_н}{k_т} \cdot \frac{l_д(Z_с + Z_{сз})}{\frac{U_л}{2500} - l_д}, \qquad (3)$$

где $l_д$ – длина дуги, м;

$Z_с$ – полное сопротивление системы «за спиной», Ом;

$Z_{сз}$ – полное сопротивление срабатывания соответствующей ступени, Ом;

$k_т$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в дуге;

$U_л$ – действующее значение линейного напряжения, В;

$k_н$ – коэффициент надежности, равный 1,2;

$k_т$ – коэффициент токораспределения между точкой установки защиты и местом возникновения дуги в конце первой зоны.

С учетом времен действия ступеней защит и возможности вытягивания дуги ветром $l_д$ следует принимать:

- для ступеней первой зоны – равным расстоянию между фазами;
- для ступеней второй зоны – от трех до пяти расстояний между фазами;
- для ступеней третьей зоны – от семи до десяти расстояний между фазами.

Условие отстройки от сопротивления нагрузки в обычном режиме или при самозапуске, с учетом необходимых запасов по коэффициентам надежности и возврата, определяются исходя из рисунка 6

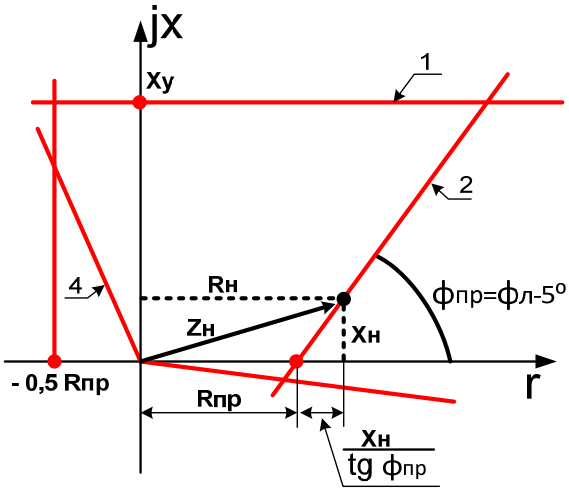

Рисунок 6 – Условие отстройки от сопротивления нагрузки

$$R_{пр} \leq \frac{1}{k_н k_в}\left(R_н - \frac{X_н}{tg\Phi_{пр}}\right), \qquad (4)$$

где $k_н$ – коэффициент надежности, равный 1,2;

$k_в$ – коэффициент возврата, равный 1,05;

$R_н$, $X_н$ – ортогональные составляющие сопротивления нагрузки.

При этом в режиме самозапуска $R_н$ и $X_н$ должны соответствовать этому режиму.

При правильном выборе параметров срабатывания одноименные границы соседних зон в одном устройстве не пересекаются (см. рис.7).

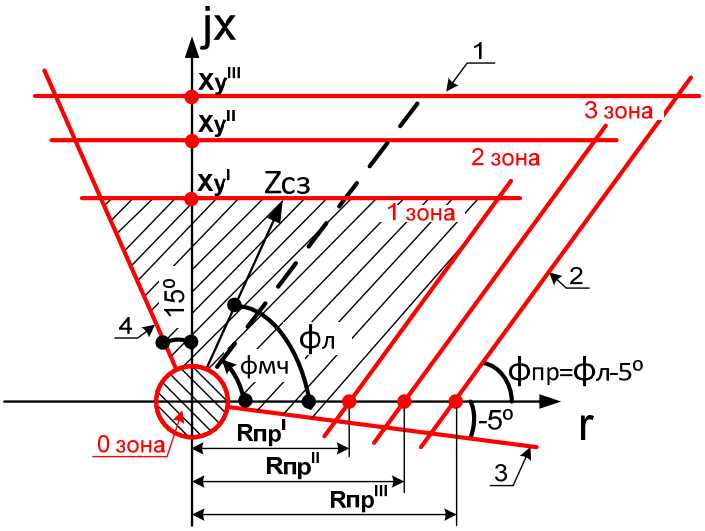

Рисунок 7 – Границы зон

1.2 Порядок выбора уставок ступеней дистанционной защиты

1.2.1 Первая зона

1.2.1.1 Сопротивление срабатывания по условию отстройки от КЗ в конце зоны (месте установки предыдущих защит)

$$Z_{\text{сз}}^{\text{I}} = 0{,}85 Z_{\text{л}} \,, \qquad (5)$$

$$X_{y}^{\text{I}} = Z_{\text{сз}}^{\text{I}} \sin \Phi_{\text{л}} \,,$$

где $Z_{\text{л}}$ – сопротивление линии (нескольких линий, блока линия – трансформатор и пр.) от места установки защиты до места установки ближайшей из предыдущих защит в направлении действия защиты;

$\Phi_{\text{л}}$ – угол импеданса $Z_{\text{л}}$ (линии, нескольких линий, блока линия – трансформатор и пр.).

1.2.1.2 Активное сопротивление $R_{\text{пр}}^{\text{I}}$ по условию обеспечения чувствительности через переходное сопротивление дуги в конце первой зоны:

$$R_{\text{пр}}^{\text{I}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{т}}} \cdot \frac{l_{\text{д}}^{\text{I}}(Z_{\text{с}} + Z_{\text{сз}}^{\text{I}})}{\frac{U_{\text{л}}}{2500} - l_{\text{д}}^{\text{I}}} \,, \qquad (6)$$

Значение $l_{\text{д}}^{\text{I}}$ принимается равным расстоянию между фазами на линии.

Угол правой границы характеристики

$$\Phi_{\text{пр}}^{\text{I}} = \Phi_{\text{л}} - 5^{\circ}$$

1.2.1.3 Проверка условия отстройки от нагрузки не выполняется.

1.2.1.4 Время действия защиты в первой зоне T_{y}^{I} , принимается равным нулю.

1.2.1.5 С целью обеспечения правильной работы при близких металлических КЗ, сопровождающихся просадкой рабочих напряжений ниже уровня при котором обеспечивается измерение углов между токами и напряжениями, для первой ступени должна вводится работа по памяти. Значение напряжения, при котором включается работа по памяти, определяется параметрами устройства и не требует ввода уставкой.

1.2.2 Вторая и нулевая зоны

1.2.2.1 Сопротивление срабатывания во второй зоне по условию охвата КЗ в месте установки наиболее удаленной из предыдущих защит

$$Z_{\text{сз}}^{\text{II}} = 1{,}25 Z_{\text{л}} \,, \qquad (7)$$

$$X_{y}^{\text{II}} = Z_{\text{сз}}^{\text{II}} \sin \Phi_{\text{л}} \,,$$

где $Z_{\text{л}}$ – сопротивление линии (нескольких линий, блока линия – трансформатор и пр.) от места установки защиты до места установки наиболее удаленной из предыдущих защит в направлении действия защиты;

$\Phi_{\text{л}}$ – угол импеданса $Z_{\text{л}}$.

1.2.2.2 Активное сопротивление $R_{\text{пр}}^{\text{II}}$ во второй зоне по условию обеспечения чувствительности через переходное сопротивление дуги определяется в соответствии с выражением (3) при значении длины дуги $l_{\text{д}}^{\text{II}}$, равном три – пять расстояний между фазами.

$$R_{\text{пр}}^{\text{II}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{т}}} \cdot \frac{l_{\text{д}}^{\text{II}}(Z_{\text{с}}+Z_{\text{сз}}^{\text{II}})}{\frac{U_{\text{л}}}{2500}-l_{\text{д}}^{\text{II}}}, \qquad (8)$$

1.2.2.3 Условие отстройки от нагрузки во второй зоне с учетом выражения (4)

$$R_{\text{пр}}^{\text{II}} \leq \frac{Z_{\text{н}\,min}}{k_{\text{н}}k_{\text{в}}}\left(\cos\Phi_{\text{н}} - \frac{\sin\Phi_{\text{н}}}{tg\Phi_{\text{пр}}^{\text{II}}}\right), \qquad (9)$$

где $Z_{\text{н}\,min}$ – минимальное сопротивление нагрузки;

$R_{\text{пр}}^{\text{II}} = \Phi_{\text{л}} - 5^{\circ}$ – угол правой границы характеристики.

$$Z_{\text{н}\,min} = \frac{U_{\text{раб}\,min}}{\sqrt{3}k_{\text{сзп}}I_{\text{раб}\,max}}, \qquad (10)$$

где $U_{\text{раб}\,min}$ – минимальное напряжение в месте установки защиты с учетом самозапуска;

$k_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска;

$I_{\text{раб}\,max}$ – максимальный ток в рабочем режиме.

1.2.2.4 Условие согласования по чувствительности с уставками первой зоны предыдущих дистанционных защит, в случае их выполнения с полигональными характеристиками

$$X_{y}^{\text{II}} \leq 0{,}85\left(X_{\text{л}} + \frac{0{,}9X_{y\,\text{пред}}^{\text{I}}}{k_{\text{т пред}}}\right), \qquad (11)$$

$$R_{\text{пр}}^{\text{II}} \leq 0{,}85\left(R_{\text{л}} + \frac{0{,}9R_{\text{пр пред}}^{\text{I}}}{k_{\text{т пред}}}\right), \qquad (12)$$

где $X_{\text{л}}$ и $R_{\text{л}}$ – сопротивления линии между точками установки рассматриваемой и предыдущей защит;

$X_{y\,\text{пред}}^{\text{I}}$ и $R_{\text{пр пред}}^{\text{I}}$ – уставки в первой зоне предыдущей защиты;

$k_{\text{т пред}}$ – коэффициент токораспределения в точке установки предыдущей защиты по отношению к рассматриваемой

$$k_{\text{т пред}} = \frac{I}{I_{\text{пред}}},$$

Например, при согласовании защит 1 и 3 (см. рисунок 1) коэффициент токораспределения для защиты 3 как предыдущей по отношению к защите 1

$$k_{\text{т}\,3} = \frac{I_1}{I_3}.$$

Условие согласования по чувствительности должно выполняться для всех предыдущих защит. Так для защиты 1 (рис.1) необходимо проверять указанное условие по отношению к защитам 3, 31 и 21.

Коэффициент 0,9 в выражениях (11) и (12) обеспечивает надежное выполнение условий отстройки при уменьшении параметров срабатывания предыдущих защит за счет их собственной погрешности и погрешности трансформаторов тока. Коэффициент 0,85 обеспечивает выполнение указанных условий при увеличении параметров срабатывания рассматриваемой защиты за счет ее погрешности и погрешностей трансформаторов тока, а также компенсирует возможные неточности расчетов первичных значений параметров режимов сети.

1.2.2.5 Условие согласования по чувствительности с уставками первой зоны предыдущих дистанционных защит, в случае их выполнения с другими видами характеристик, должно проверятся для худшего сочетания параметров, которое обычно имеет место в точке пересечения границ 1 и 2 полигональной характеристики (рис.8).

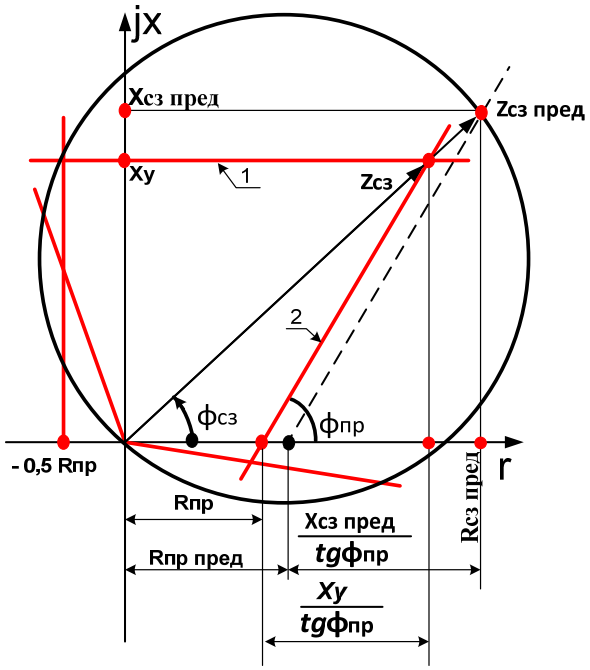

Рисунок 8 – Условие согласования по чувствительности

Угол $\varphi_{\text{сз}}$, соответствующий точке согласования, определяется из выражения

$$\Phi_{\text{сз}} = arctg\frac{X_y}{R_{\text{пр}}+\frac{X_y}{tg\Phi_{\text{пр}}}}, \qquad (13)$$

При этом значении угла по характеристике предыдущей защиты определяют значение ее сопротивления срабатывания в точке согласования $Z_{\text{сз пред}}$ и его составляющие:

$$X_{\text{сз пред}} = Z_{\text{сз пред}}\sin\Phi_{\text{сз}}, \qquad (14)$$

$$R_{\text{сз пред}} = Z_{\text{сз пред}}\cos\Phi_{\text{сз}}, \qquad (15)$$

Фиктивное значение $R_{\text{пр пред}}$, которое имело бы место в случае полигональной характеристики предыдущей защиты, определяется в соответствии с выражением

$$R_{\text{пр пред}} = R_{\text{сз пред}}\frac{X_{\text{сз пред}}}{tg\Phi_{\text{пр}}}, \qquad (16)$$

Условия согласования второй зоны с первой зоной предыдущей защиты аналогично выражениям (11) и (12):

$$X_y^{\text{II}} \leq 0{,}85\left(X_{\text{л}} + \frac{0{,}9X_{\text{сз пред}}^{\text{I}}}{k_{\text{т пред}}}\right), \qquad (17)$$

$$R_{\text{пр}}^{\text{II}} \leq 0{,}85\left(R_{\text{л}} + \frac{0{,}9R_{\text{пр пред}}^{\text{I}}}{k_{\text{т пред}}}\right), \qquad (18)$$

1.2.2.6 Для проверки выполнения условия согласования по чувствительности с уставками первых ступеней предыдущих максимально-токовых защит, определим при каких значениях сопротивления $X_{\text{сз пред}}$ и $R_{\text{сз пред}}$ в точке установки указанных предыдущих защит будет иметь место ток КЗ, равный току их срабатывания $I_{\text{сз пред}}$ при значении угла, равном $\Phi_{\text{сз}}$, что соответствует условиям согласования:

$$X_{\text{сз пред}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}I_{\text{сз пред}}}\sin\Phi_{\text{сз}} - X_{\text{с}}\,, \qquad (19)$$

$$R_{\text{сз пред}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}I_{\text{сз пред}}}\cos\Phi_{\text{сз}} - R_{\text{с}}\,, \qquad (20)$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети в точке установки рассматриваемой защиты;

$X_{\text{с}}$ и $R_{\text{с}}$ – составляющие сопротивления питающей системы до места установки предыдущих защит.

Дальнейшая проверка условий согласования не отличается от согласования с предыдущей дистанционной защитой и выполняется по выражениям (16) – (18).

1.2.2.7 В случае если места установки согласуемой и предыдущих защит разделены трансформаторами все сопротивления и токи, упоминаемые в пунктах 1.2.2.4 – 1.2.2.6, должны быть приведены к номинальному напряжению ступени напряжений сети в месте установки согласуемой защиты.

1.2.2.8 Значения X_y^{II} и $R_{\text{пр}}^{\text{II}}$, рассчитанные согласно выражений (7) и (8), также должны соответствовать условиям (9), (11) и (12), а при выполнении предыдущих защит дистанционными с другими видами характеристик или максимально-токовыми – (17) и (18) – в противном случае они должны быть уменьшены до выполнения худшего из указанных условий.

1.2.2.9 Время действия защиты во второй зоне T_y^{II} принимается превышающим время действия предыдущих защит в первой зоне на ступень селективности.

1.2.2.10 Работа по памяти для ступени реализующей вторую зону должна вводиться только если остаточное напряжение при КЗ в месте окончания первой зоны меньше напряжения включения работы по памяти (соответственно 0,02 номинального при работе по междуфазным и 0,01 при работе по фазным напряжениям). Работа по памяти во второй зоне также не вводится если суммарное время действия ступени защиты и выключателя превышает время сохранения возможности работы по памяти, составляющее 0,5 с.

1.2.2.11 Уставка по сопротивлению в нулевой зоне должна выбираться из условий согласования по чувствительности с уставками первой зоны защит «за спиной», а также для разделения зон быть отстроена по сопротивлению от первой зоны своей защиты. При этом, с учетом ненаправленности защиты в нулевой зоне, должна выполняться отстройка Z_y^0 как от X_y^I так и от $R_{пр}^I$ (см. рис.9).

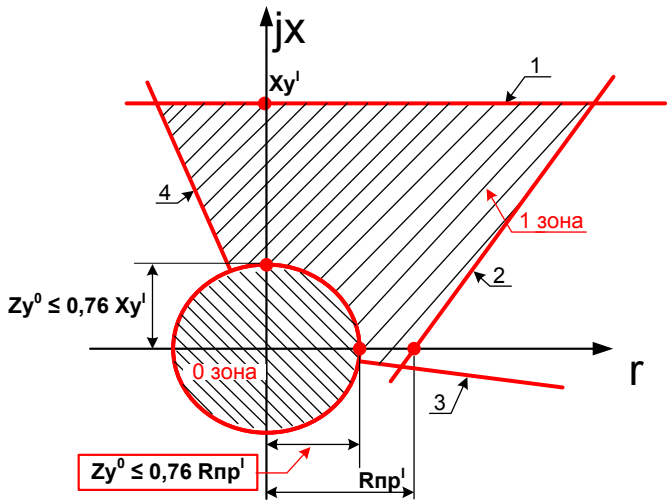

Рисунок 9 – Согласование уставки нулевой зоны с первой для полигональной характеристики

Аналогично выражениям (11) и (12) с учетом $X_л = 0$, $R_л = 0$ (между согласуемыми защитами отсутствует линия) для согласовании с защитами «за спиной»:

$$Z_y^0 \leq 0{,}76 \frac{X_{y\ \text{"за спиной"}}^{\text{I}}}{k_{\text{т "за спиной"}}}, \qquad (21)$$

$$Z_y^0 \leq 0{,}76 \frac{R_{\text{пр "за спиной"}}^{\text{I}}}{k_{\text{т "за спиной"}}}.$$

Для разделения зон действия со ступенями первой зоны своей защиты ($k_{\text{т}} = 1$)

$$Z_y^0 \leq 0{,}76 X_y^{\text{I}}, \qquad (22)$$

$$Z_y^0 \leq 0{,}76 R_{\text{пр}}^{\text{I}}.$$

1.2.2.12 При выполнении защит «за спиной» дистанционными с другими видами характеристик (рис.10)

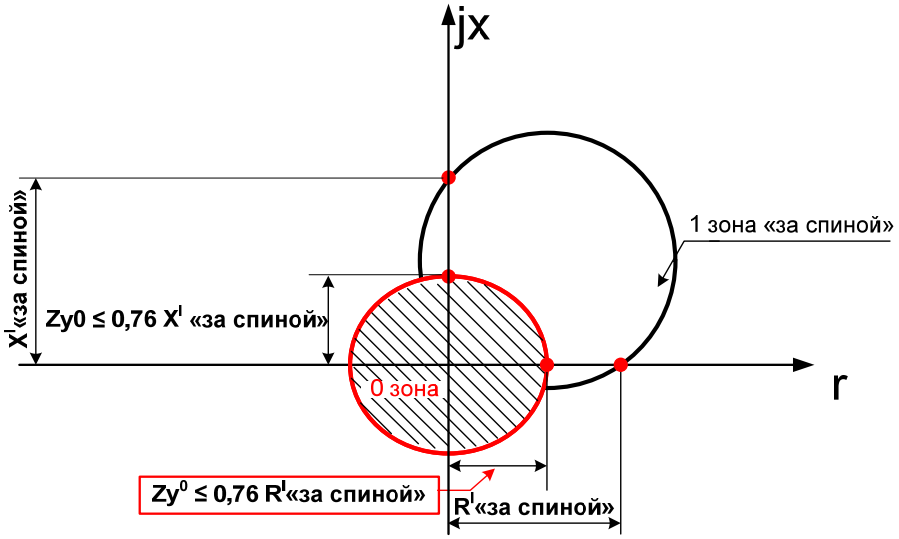

Рисунок 10 – Согласование уставки нулевой зоны с первой для других видов характеристик

условия отстройки (21) примут вид:

$$Z_y^0 \leq 0{,}76 \frac{X_{\text{"за спиной"}}^{\text{I}}}{k_{\text{т "за спиной"}}}, \qquad (23)$$

$$Z_y^0 \leq 0{,}76 \frac{R_{\text{"за спиной"}}^{\text{I}}}{k_{\text{т "за спиной"}}},$$

где $X_{\text{"за спиной"}}^{\text{I}}$ и $R_{\text{"за спиной"}}^{\text{I}}$ – значения соответственно X и R в точках пересечения осей характеристикой первой зоны защиты «за спиной».

1.2.2.13 При выполнении защит «за спиной» максимально-токовыми, проверку следует выполнять также в соответствии с выражениями (23), но значения $X^{\mathrm{I}}_{\text{"за спиной"}}$ и $R^{\mathrm{I}}_{\text{"за спиной"}}$ необходимо определять из выражений (24):

$$X^{\mathrm{I}}_{\text{"за спиной"}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}I^{\mathrm{I}}_{\text{сз "за спиной"}}} - X_{\text{с "за спиной"}}\,, \qquad (24)$$

$$R^{\mathrm{I}}_{\text{"за спиной"}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}I^{\mathrm{I}}_{\text{сз "за спиной"}}} - R_{\text{с "за спиной"}}\,,$$

где $X_{\text{с "за спиной"}}$ и $R_{\text{с "за спиной"}}$ – составляющие сопротивления питающей системы до места установки защит за спиной при питании от противоположного источника, например при согласовании защиты 3 с защитой «за спиной» 2 (рис.1) – от источника Ев.

1.2.2.14 Время действия защиты в нулевой зоне T^0_y принимается превышающим время действия защит «за спиной» в их первой зоне на ступень селективности.

1.2.2.15 Для обеспечения чувствительности защиты в нулевой зоне должно выполняться условие:

$$Z^0_y \geq 1{,}5 Z_{\max\text{"за спиной"}}\,, \qquad (25)$$

где $Z_{\max\text{"за спиной"}}$ - максимальное суммарное сопротивление всех элементов сети до места установки любой из защит «за спиной».

Следует отметить, что при выборе Z^0_y по условиям (21) – (24) условие (25) обычно всегда выполняется.

1.2.2.16 При предложенных условиях выбора уставок защита в нулевой зоне срабатывает только при КЗ «за спиной» между местом установки защиты и местами установки защит «за спиной», а также резервирует первые ступени направленных защит (своей и «за спиной) в их мертвой зоне по направленности (при Z и соответственно U стремящихся к нулю).

1.2.3 Третья зона

1.2.3.1 Ступени третьей зоны должны резервировать ступени второй зоны предыдущих защит. Согласно [3] коэффициент чувствительности в конце зоны резервирования должен составлять 1,2. Поэтому

$$Z_{\text{сз}}^{\text{III}} \geq 1{,}2 Z_{\text{рез}} \,, \qquad (25)$$

$$X_{y}^{\text{III}} \geq Z_{\text{сз}}^{\text{III}} \sin \Phi_{\text{л рез}} \,,$$

где $Z_{\text{рез}}$ – сопротивление от места установки зашиты до конца зоны резервирования;

$\Phi_{\text{л рез}}$ – угол импеданса $Z_{\text{рез}}$.

При этом, например, для случая резервирования защитой 1 защиты 3 (см. рис.1)

$$Z_{\text{рез}} = Z_{\text{л}1} + Z_{\text{л}2} \,,$$

Для случая резервирования защиты 31

$$Z_{\text{рез}} = Z_{\text{л}1} + Z_{\text{л}21} \,,$$

и т.д.

Также согласно [3] коэффициент чувствительности в конце защищаемой линии должен составлять 1,5. Поэтому

$$Z_{\text{сз}}^{\text{III}} \geq 1{,}5 Z_{\text{л}1} \,, \qquad (26)$$

$$X_{y}^{\text{III}} \geq Z_{\text{сз}}^{\text{III}} \sin \Phi_{\text{л}1} \,,$$

Согласно перечисленных условий выбирают максимальные значения $Z_{\text{сз}}^{\text{III}}$ и X_{y}^{III}.

1.2.3.2 Активное сопротивление $R_{\text{пр}}^{\text{III}}$ в третьей зоне по условию обеспечения чувствительности через переходное сопротивление дуги определяется в соответствии с выражением (3) при значении длины дуги $l_{\text{д}}^{\text{III}}$, равном семь – десять расстояний между фазами.

$$R_{\text{пр}}^{\text{III}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{т}}} \cdot \frac{l_{\text{д}}^{\text{III}}(Z_{\text{с}}+Z_{\text{сз}}^{\text{III}})}{\frac{U_{\text{л}}}{2500}-l_{\text{д}}^{\text{III}}}, \qquad (27)$$

1.2.3.3. Условие отстройки от нагрузки в третьей зоне

$$R_{\text{пр}}^{\text{III}} \leq \frac{Z_{\text{н}\,min}}{k_{\text{н}}k_{\text{в}}}\left(\cos\Phi_{\text{н}} - \frac{\sin\Phi_{\text{н}}}{tg\Phi_{\text{пр}}^{\text{III}}}\right), \qquad (28)$$

где $Z_{\text{н}\,min}$ – минимальное сопротивление нагрузки в соответствии с выражением (10);

$\Phi_{\text{пр}}^{\text{III}} = \Phi_{\text{л рез}} - 5^{\circ}$ - угол правой границы характеристики в третьей зоне.

Выполнение условия отстройки от нагрузки (28) может потребовать загрубления защиты при работе через переходное сопротивление. В этом случае можно уменьшить влияние отстройки на понижение чувствительности через переходное сопротивление путем введения отстройки по углу (рис. 11).

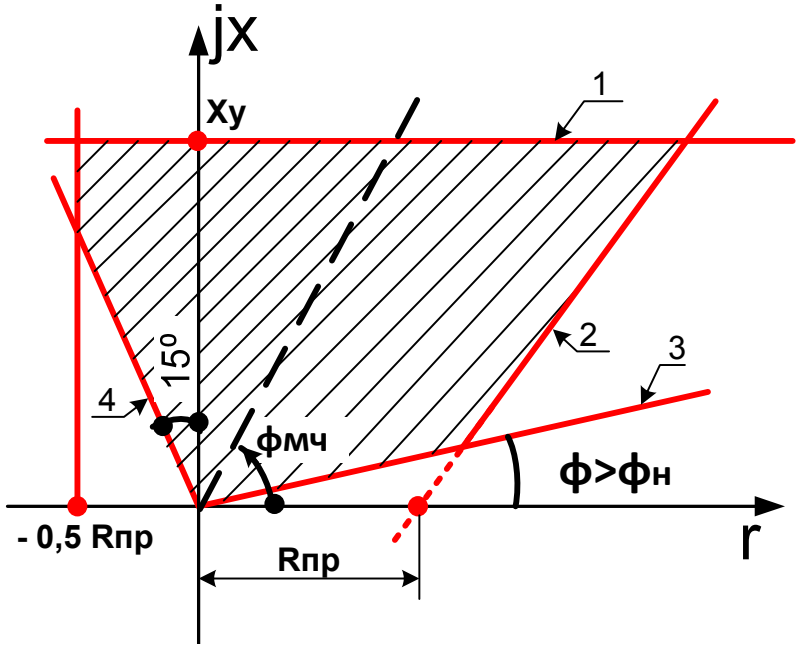

Рисунок 11 – Отстройка от нагрузки по углу

Для этого с учетом запаса по углу отстройки в 5° следует выполнить условия:

$$\Phi_{\text{зоны}} = 95^{\circ} - \Phi_{\text{н}} \,, \qquad (29)$$

$$\Phi_{\text{мч}} = 47^{\circ} - \Phi_{\text{н}} \,, \qquad (30)$$

При этом характеристика может выродиться в треугольную (рис.12).

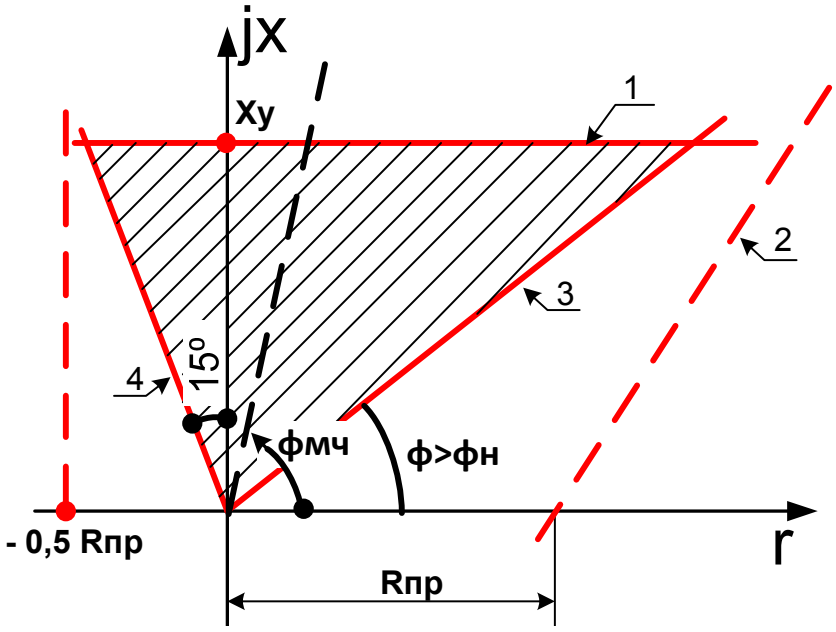

Рисунок 12 – Вырождение характеристики в треугольную при отстройке от нагрузки по углу

Отстройка от нагрузки также может быть выполнена специальной функцией отстройки от нагрузки (рис.13). При этом, параметры основной характеристики не изменяются и условия отстройки по уровню (28) и по углу (29), (30) можно не выполнять. Уставки указанной специальной функции должны быть следующие:

$$Z_{\text{отс}} = 0{,}85 Z_{\text{н}} \,,$$

$$\Phi_{\text{отс}} = \Phi_{\text{н}} + 5^{\circ}$$

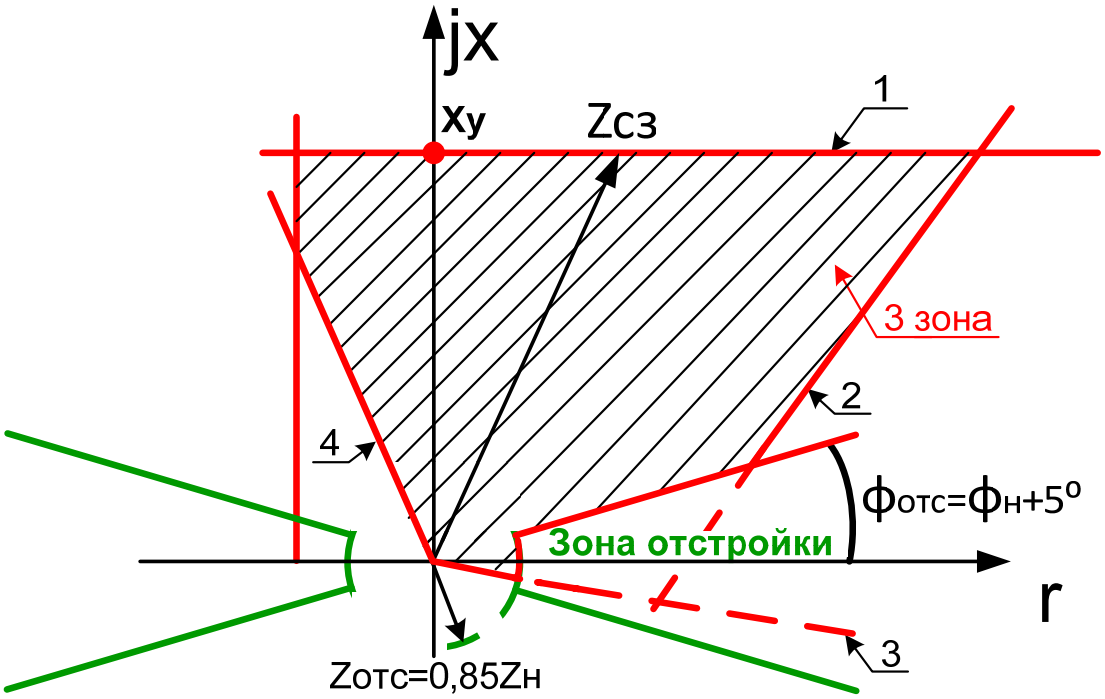

Рисунок 13 – Отстройка от нагрузки

1.2.3.4 Время действия защиты в третьей зоне T_y^{III} принимается превышающим время действия предыдущих защит во второй зоне на ступень селективности.

1.2.3.5 Работа по памяти для ступени реализующей третью зону не вводится.

1.2.4 Поведение ступеней дистанционной защиты при неисправности цепей напряжения

Работа дистанционной защиты при потере или неисправности цепей напряжения невозможна. Для действия при КЗ в условиях неисправности цепей напряжения должна предусматриваться защита, работа которой не зависит от цепей напряжения. Традиционно в качестве такой защиты используется ненаправленная МТЗ. Так как эта защита является менее совершенной чем дистанционная, то она не может во всех случаях обеспечить такую же селективную работу как дистанционная. Основным требованием к организации такой МТЗ является сведение к возможному минимуму случаев ее неселективной работы. Для обеспечения селективности, МТЗ, так же как дистанционная защита, должна быть организована по ступенчатому принципу.

При этом старшие ступени более чувствительны, чем младшие и имеют большие выдержки времени. Это позволяет обеспечить согласование по чувствительности и времени с предыдущими защитами. С определенным приближением ступени МТЗ, заменяющие дистанционные ступени, могут иметь такие же как у дистанционных уставки по времени. А уставки по току этих ступеней МТЗ целесообразно выбирать так, чтобы их зоны действия в реальной сети с ее распределением токов КЗ максимально совпадали с зонами действия заменяемых ступеней ДЗ. При этом будет достигнута цель минимизации случаев неселективной работы МТЗ.

В устройстве РС830-ДЗ для реализации описанного подхода при выявлении неисправности цепей напряжения, осуществляемом специальной защитой от обрывов цепей напряжения, дистанционные ступени автоматически переводятся в максимально-токовые без изменения уставок по времени и с отдельными уставками по току (см. пункт 16 таблицы 1). Так как условия согласования для дистанционных ступеней обеспечивались путем выбора ортогональных составляющих их сопротивлений срабатывания при металлических КЗ, то для совпадения зон срабатывания МТЗ и ДЗ по их расположению вдоль сопротивления защищаемых линий следует рассматривать такой же режим. Этот режим изображен точкой А на рис.14.

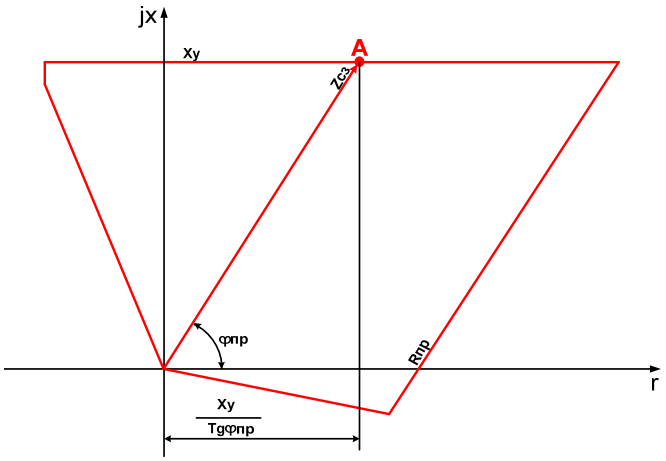

Рисунок 14 – Выбор сопротивления срабатывания для определения тока срабатывания при переводе дистанционной ступени в МТЗ

Ток трехфазного $I_{кз}^{(3)}$ и двухфазного $I_{кз}^{(2)}$ КЗ в точке, удаленной от места установки защиты на сопротивление $Z_{сз}$, в таком режиме (он же ток при КЗ в конце зоны действия ступеней дистанционной защиты) определится составляющими этого сопротивления и сопротивления питающей системы до места установки защиты в соответствии с выражениями

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_н}{\sqrt{3}\sqrt{(X_с+X_y)^2+\left(R_с+\frac{X_y}{tg\Phi_{пр}}\right)^2}},$$

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{U_н}{2\sqrt{(X_с+X_y)^2+\left(R_с+\frac{X_y}{tg\Phi_{пр}}\right)^2}},$$

где $X_с$ и $R_с$ – составляющие сопротивления питающей системы.

Так как условия срабатывания первой ступени выбираются по условиям отстройки от параметров режима КЗ в конце защищаемой линии, а второй и третьей ступеней - по условиям охвата защищаемой и смежной с ней линий, то для первой ступени следует принимать максимальный ток КЗ (трехфазного), а для второй и третьей – минимальный (двухфазного). При этом в приведенных выражениях в качестве X_y подставляются уставки соответственно первой X_y^{I}, второй X_y^{II} или третьей X_y^{III} ступеней.

Уставки ступеней 1-3 дистанционной защиты по рассчитанным зонам сводятся в таблицу 1

Таблица 1 – Уставки ступеней ДЗ

№ п/п	Наименование уставки	Значение уставки для ступеней в первичных/вторичных единицах			Номер окна в структуре меню устройства
		1 ст	2 ст	3 ст	
Наименование присоединения					
1	Разрешение работы ступени				410
2	Выбор типа характеристики ОЗ				411

Продолжение Таблицы 1

3	Выбор уставки по сопротивлению срабатывания X_y, *Ом*				412
4	Выбор уставки по углу максимальной чувствительности $\Phi_{мч}$				413
5	Выбор уставки по углу ширины зоны $\Phi_{шз}$				414
6	Выбор уставки по сопротивлению срабатывания $R_{пр}$				415
7	Выбор уставки по углу $\Phi_{пр}$				416
8	Выбор уставки по времени срабатывания ОЗ (*ТЗ*), с				417
9	Разрешение автоматического ускорения				418
10	Выбор уставки по времени срабатывания ОЗ с автоматическим ускорением $T_{зау}$, с				419
11	Выбор уставки по времени срабатывания ОЗ с оперативным ускорением $T_{зоу}$				419а
12	Разрешение блокировки по нагрузке				420
13	Выбор уставки по сопротивлению нагрузки (одна для всех ступеней)				421
14	Выбор уставки по углу нагрузки (одна для всех, при изменении в одной ступени изменяется во всех)				422
15	Разрешение блокировки при качаниях (Откл., Вкл. БКб, Вкл.БКм)				423
16	Выбор уставки по току срабатывания при работе ЗОЦН				424
17	Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности				
18	Коэффициент возврата				

Уставки ступени 0 дистанционной защиты с круговой характеристикой и выведенной направленностью сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 - Уставки ступени 0 дистанционной защиты

№ п/п	Наименование уставки	Значение уставки для ступени 0 в первичных/вторичных единицах	Номер окна в структуре меню устройства
Наименование присоединения			
1	Разрешение работы ступени		350
2	Выбор типа характеристики ОЗ	Круговая 1	351
3	Выбор уставки по сопротивлению срабатывания $Z_у$, *Ом*		352
4	Разрешение направленности	Откл	353
5	Выбор уставки по углу максимальной чувствительности $Ф_{мч}$	-	354
6	Выбор уставки по углу ширины зоны $Ф_{шз}$	-	355
7	Выбор уставки по времени срабатывания ОЗ ($T_з$), с		356
8	Разрешение автоматического ускорения		357
9	Выбор уставки по времени срабатывания ОЗ с автоматическим ускорением $T_{зау}$, с		358
10	Выбор уставки по времени срабатывания ОЗ с оперативным ускорением $T_{зоу}$		358а
11	Разрешение блокировки по нагрузке	0откл	359
12	Выбор уставки по сопротивлению нагрузки (одна для всех ступеней, при изменении в одной ступени изменяется во всех)	-	360

Продолжение Таблицы 2

13	Выбор уставки по углу нагрузки (одна для всех, при изменении в одной ступени изменяется во всех)	-	361
14	Разрешение блокировки при качаниях (Откл., Вкл. БКб, Вкл. БКм)		362
15	Выбор уставки по току срабатывания при работе ЗОЦН		363
16	Коэффициент компенсации фазного тока током нулевой последовательности		
17	Коэффициент возврата		-

1.3 Блокировка при качаниях

Блокировка при качаниях построена по принципу отслеживания чувствительными пусковыми органами появления при коротких замыканиях приращений токов прямой $dI_{1\text{чув}}$ и обратной $dI_{2\text{чув}}$ последовательности и отсутствия таких приращений при качаниях или плавных изменениях токов нагрузки. Факт появления указанных приращений фиксируется, что приводит к формированию сигналов БКб и БКм разрешения работы соответственно быстродействующих и медленнодействующих ступеней дистанционной защиты. Сигналы БКб и БКм появляются на заданные уставками ограниченные интервалы времени ввода ступеней соответственно $T_{\text{вв_чув}}$ и $T_{\text{вв_груб}}$, по истечению которых ступени снова блокируются. Для каждой ступени дистанционной защиты уставкой предусмотрена возможность вывода блокировки от качаний, ее ввода от сигнала БКб, или ввода от сигнала БКм.

Алгоритмом блокировки от качаний предусмотрена возможность повторного формирования сигнала БКб ввода быстродействующих ступеней при перерастании одного из видов КЗ в другой (с большими токами) если такое перерастание произошло на протяжении времени действия сигнала БКм. Указанный повторный ввод быстродействующих ступеней осуществляется по

факту срабатывания грубых пусковых органов со своими уставками $dI_{1груб}$ и $dI_{2груб}$. Интервал времени на котором действует указанный повторный ввод (повторно присутствует сигнал БКб) задается отдельной уставкой $T_{вв_груб}$. После прекращения действия сигнала БКм (истечении времени $T_{вв_груб}$) повторный ввод быстродействующих ступеней становится невозможным. Возможность указанного повторного ввода быстродействующих ступеней также может быть полезна в цикле АПВ.

В момент окончания действия сигнала БКм кроме прочего алгоритм блокировки при качаниях приводится в исходное состояние (сбрасываются все элементы запоминания состояний в его внутренней логике), что позволяет блокировке снова работать из исходного состояния. В уставках блокировки от качаний предусмотрена возможность введения ускоренного сброса алгоритма по сигналу РПО при отключении выключателя. Введение ускоренного сброса в частности позволяет не отстраивать длительность сигнала БКм (уставки $T_{вв_груб}$) от необходимого времени разрешения повторного пуска в цикле АПВ.

1.3.1 Ток срабатывания чувствительного пускового органа прямой последовательности

$$dI_{1чув} = K_{отс}\left(K_{нб_осн}I_{1кач} + K_{нб_доп1}I_{2кач} + I_{нб_доп}\right),$$

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

$K_{нб_осн}$ – коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийной составляющей тока прямой последовательности;

$I_{1кач}$ – ток прямой последовательности в режиме качаний;

$K_{нб_доп1}$ – коэффициент небаланса по дополнительному (создаваемому I_2) сигналу фильтра аварийной составляющей тока прямой последовательности $K_{нб_доп1}$ = 0,02;

$I_{2кач}$ – ток обратной последовательности в режиме качаний, обусловленный любым видом несимметрии, например несимметрии нагрузки;

$I_{нб_доп}$ – дополнительная составляющая небаланса фильтров, во вторичных единицах принимается $I_{нб_доп_втор}$ = 0,01 А.

Коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийной составляющей $K_{нб_осн}$ принимается в соответствии с таблицей 3 в зависимости от частоты скольжения (частоты изменения тока при качаниях или в пределе при асинхронном ходе, если он возможен):

Таблица 3 – Зависимость коэффициента небаланса от частоты скольжения

Частота скольжения fS , Гц	1-5	6	7	8	9	10
Коэффициент небаланса $K_{нб_осн}$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11

1.3.2 Коэффициент чувствительности по чувствительному органу прямой последовательности определяется при трехфазном КЗ в режиме дальнего резервирования, т.е. в конце смежного участка линии, защищаемого предыдущей защитой:

$$K_{ч\ чувст} = I_{1\ кз\ пр}^{(3)} / dI_{1чув} ,$$

где $I_{1\ кз\ пр}^{(3)}$ – ток прямой последовательности при трехфазном КЗ в конце предыдущего участка, т.е. в режиме дальнего резервирования.

Чувствительность обеспечивается при $K_{ч\ чувст} \geq 1{,}2$.

1.3.3 Ток срабатывания грубого пускового органа прямой последовательности

$$dI_{1груб} = 2dI_{1чув} ,$$

1.3.4 Коэффициент чувствительности по грубому органу прямой последовательности $K_{\text{ч груб}}$ определяется по минимальному току трехфазного КЗ в конце защищаемой линии $I_{1\,\text{кз}}^{(3)}$:

$$K_{\text{ч груб}} = I_{1\,\text{кз}}^{(3)} / dI_{1\text{груб}} ,$$

Чувствительность обеспечивается при $K_{\text{ч груб}} \geq 1{,}5$.

1.3.5 Если значения коэффициентов чувствительности по чувствительному и грубому органу прямой последовательности окажутся существенно превышающими указанные нормативные значения, то рекомендуется искусственно загрубить уставки органов прямой последовательности, доведя их до значений, близких к нормативным.

1.3.6 Ток срабатывания чувствительного пускового органа обратной последовательности

$$dI_{2\text{чув}} = K_{\text{отс}}\left(K_{\text{нб_осн}} I_{2\text{кач}} + K_{\text{нб_доп2}} I_{1\text{кач}} + I_{\text{нб_доп}}\right) ,$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, $K_{\text{отс}}$ =1,2;

$K_{\text{нб_осн}}$ – коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийной составляющей тока обратной последовательности;

$I_{2\text{кач}}$ – ток обратной последовательности в режиме качаний, обусловленный любым видом несимметрии, например несимметрии нагрузки;

$K_{\text{нб_доп2}}$ – коэффициент небаланса по дополнительному (создаваемому I_1) сигналу фильтра аварийной составляющей тока обратной последовательности $K_{\text{нб_доп2}}$ = 0,01;

$I_{1\text{кач}}$ – ток прямой последовательности в режиме качаний;

$I_{\text{нб_доп}}$ – дополнительная составляющая небаланса фильтров, во вторичных единицах принимается $I_{\text{нб_доп_втор}}$ = 0,01 А.

Коэффициент небаланса по основному сигналу фильтра аварийной составляющей $K_{\text{нб_осн}}$ принимается в соответствии с таблицей 2 в зависимости от частоты скольжения.

1.3.7 Коэффициент чувствительности по чувствительному органу обратной последовательности в режиме дальнего резервирования:

$$K_{\text{ч чувст}} = I_{2\ \text{кз пр}}^{(2)} / dI_{2\text{чув}} \ ,$$

где $I_{2\ \text{кз пр}}^{(2)}$ – ток обратной последовательности при двухфазном КЗ в конце предыдущего участка, т.е. в режиме дальнего резервирования.

1.3.8 Ток срабатывания грубого пускового органа обратной последовательности

$$dI_{2\text{груб}} = 2dI_{2\text{чув}} \ .$$

1.3.9 Коэффициент чувствительности по грубому органу обратной последовательности $K_{\text{ч груб}}$ определяется по минимальному току двухфазного КЗ в конце защищаемой линии $I_{2\ \text{кз}}^{(2)}$.

$$K_{\text{ч груб}} = I_{2\ \text{кз}}^{(2)} / dI_{2\text{груб}} \ .$$

1.3.10 Рекомендации по искусственному загрублению пусковых органов, в случае значительного превышения их коэффициентов чувствительности сверх нормативных значений для органов обратной последовательности, следует использовать с учетом необходимости их работы при несимметричных КЗ через переходное сопротивление. Для ступени ДЗ с полигональной характеристикой в этом случае наихудшие условия (наибольшее сопротивление срабатывания $Z_{\text{сз}\,max}$, т.е. наименьший ток КЗ, при котором орган блокировки от качаний не должен ограничивать срабатывание ступени через переходное сопротивление) будут иметь место в точке А характеристики (рис.15).

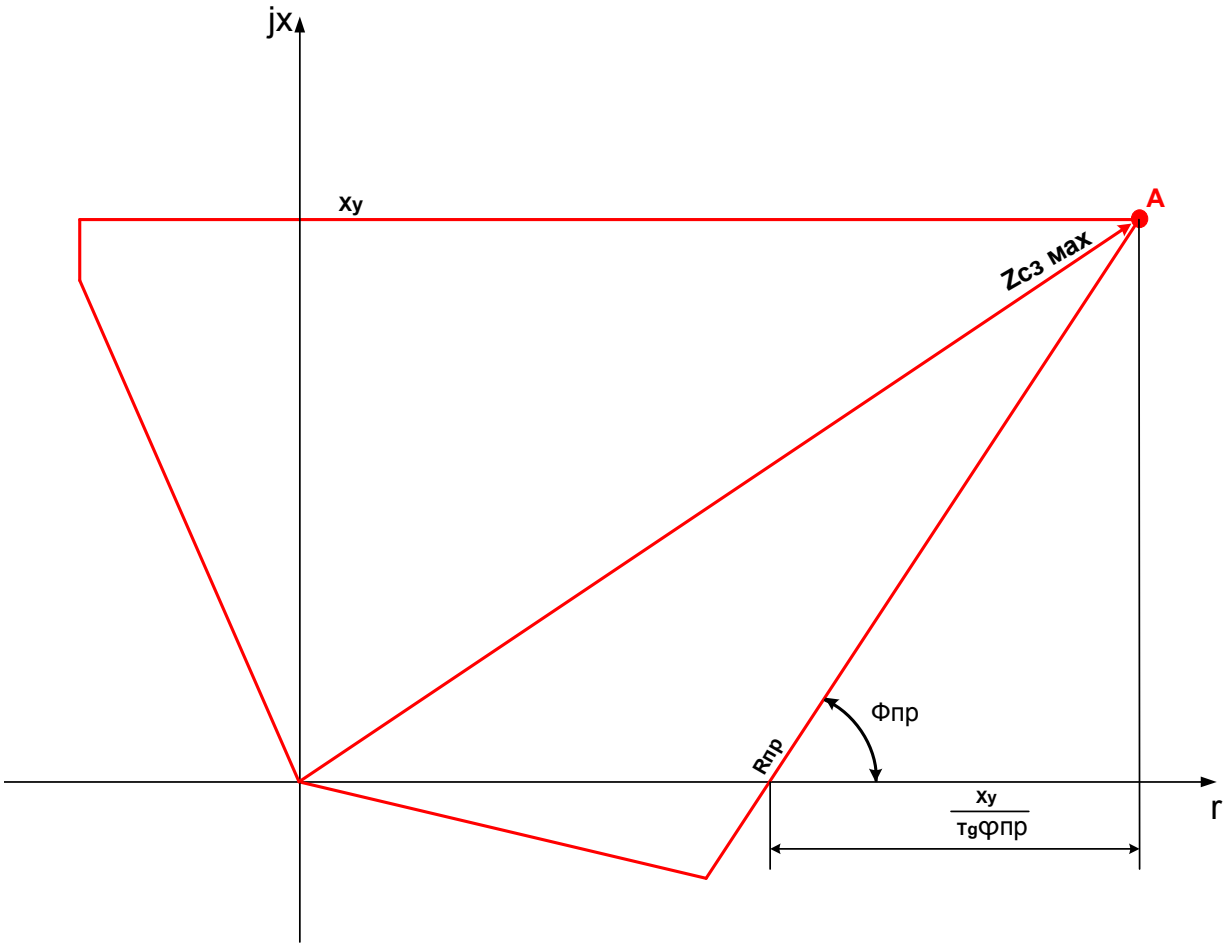

Рисунок 15 – Выбор условий для допустимого загрубления пусковых органов блокировки от качаний

Отсюда

$$Z_{\text{сз}\,max} = \sqrt{X_y^2 + \left(R_{\text{пр}} + \frac{X_y}{tg\Phi_{\text{пр}}}\right)^2},$$

Полное сопротивление петли КЗ, по которому должно быть определено минимальное значение тока КЗ в таком режиме определится как

$$Z_{\text{кз}\,max} = Z_{\text{с}} + Z_{\text{сз}\,max},$$

где $Z_{\text{с}}$ – сопротивление питающей системы до точки установки защиты.

Сопротивление системы может быть взято из схемы замещения или рассчитано по току трехфазного КЗ $I_{\text{кз}}^{(3)}$ в точке установки защиты. В последнем случае

$$Z_{\text{с}} = U_{\text{н}}/\sqrt{3}\, I_{\text{кз}}^{(3)}.$$

Суммирование $Z_{\text{с}}$ и $Z_{\text{кз}\,max}$ может выполняться по модулю – это упрощает расчет и создает некоторый дополнительный запас по чувствительности.

Следует отметить, что наши рекомендации по учету работы через переходное сопротивление в конце зоны срабатывания ступени дистанционной защиты, относятся только к выбору параметров срабатывания органов тока обратной последовательности. Подобный учет для органов тока прямой последовательности не следует делать, так как они предназначены для пуска при трехфазных КЗ, а наличие переходного сопротивления в таком режиме обычно возможно только как сопротивления дуги, возникающей в трехфазном режиме обычно как результат перехода несимметричного дугового КЗ в дуговое трехфазное. Но при такой ситуации по принятому алгоритму работы блокировки от качаний в начальный момент (до перехода несимметричного КЗ в трехфазное) срабатывает и фиксируется орган тока обратной последовательности. В результате этого срабатывание органа прямой последовательности становится не обязательным.

1.3.11 Уставка по времени $T_{\text{вв_чув}}$ ввода быстродействующих ступеней при первом срабатывании БК должна приниматься превышающей время действия блокируемых быстродействующих ступеней с запасом более чем собственное время отключения выключателя. Если ступени, для которых в опции «Блокировка при качаниях» назначено «Вкл. БКб» отсутствуют, то для правильной работы алгоритма блокировки медленнодействующих ступеней рекомендуется принимать $T_{\text{вв_чув}}$ = 0,4 с.

1.3.12 Уставка по времени $T_{\text{вв_груб}}$ ввода быстродействующих ступеней при повторном срабатывании БК может выбираться так же как при первом

срабатывании, но с учетом возможного изменения времени действия ступени при повторном срабатывании.

1.3.13 Уставка по времени $T_{\text{ввод_груб}}$ ввода медленнодействующих и по времени вывода быстродействующих ступеней БК должна приниматься превышающей время действия блокируемых медленнодействующих ступеней. Кроме того, если предполагается повторность действия в цикле АПВ и не введен ускоренный сброс алгоритма блокировки при отключении выключателя, то уставка $T_{\text{ввод_груб}}$ должна быть отстроена от полного времени цикла «Отключение – $T_{\text{АПВ}}$ – Включение – $T_{\text{ЗАЩИТЫ}}$ – Включение» при АПВ. При этом может приниматься $T_{\text{ввод_груб}}$ = 5-8 с.

Результаты расчета уставок блокировки при качаниях сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 –Уставки блокировки при качаниях

№ п/п	Наименование уставки	Значение уставки в первичных/ вторичных единицах	Номер окна в структуре меню устройства
1	Разрешение работы БК		710/1
2	Разрешение ускоренного сброса		710/2
3	Уставка по приращению чувствительного органа тока прямой $dI_{1\text{чув}}$ последовательности, А		710/3
4	Уставка по приращению чувствительного органа тока обратной $dI_{2\text{чув}}$ последовательности, А		710/4
5	Уставка по приращению грубого органа тока прямой $dI_{1\text{груб}}$ последовательности, А		710/5
6	Уставка по приращению грубого органа тока обратной $dI_{2\text{груб}}$ последовательности, А		710/6
7	Уставка по времени Твв_чув ввода быстродействующих ступеней при первом срабатывании БК, с		710/7

Продолжение таблицы 4

8	Уставка по времени $T_{вв_груб}$ ввода быстродействующих ступеней при повторном срабатывании БК, с		710/8
9	Уставка по времени $T_{ввод_груб}$ ввода медленнодействующих и по времени вывода быстродействующих ступеней БК, с		710/9

1.4 Контроль цепей напряжения

Контроль исправности цепей напряжения в устройстве РС830-ДЗ выполняется функцией защиты от обрывов цепей напряжения (ЗОЦН). ЗОЦН может работать по четырем алгоритмам, а именно:

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

1.4.1 Контроль по схеме треугольник-звезда выполнен по классическому алгоритму этого способа, является основным для сетей 110-220 кВ и введен всегда, когда введена ЗОЦН (пункт 1 табл.5). Напряжение небаланса, появление которого является признаком неисправности, вычисляется как векторная разность между расчетным (из напряжений фаз) и измеренным на выходе разомкнутого треугольника напряжением нулевой последовательности $3U_0$. При этом с целью повышения эффективности контроля при разных видах повреждения в составе расчетного $3U_0$ напряжение фазы А вычисляется как разность удвоенного напряжения этой фазы с основной обмотки и напряжения этой фазы обмотки разомкнутого треугольника, приведенного к номинальному напряжению основной обмотки. Уставку по напряжению небаланса (пункт 3) рекомендуется принимать 10 В (Л.2).

Остальные алгоритмы являются дополнительными и могут вводиться и выводиться независимо друг от друга.

1.4.2 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 этом отстройка от режима отключения линии или секции шин осуществляется путем контроля наличия тока прямой последовательности и его попадания в диапазон между уставкой по нижней границе I_{1min} и уставкой по верхней границе I_{1max}.

Порог срабатывания по снижению напряжения прямой последовательности жестко задан в устройстве и не требует выбора уставки.

1.4.2.1 Уставка по току нижней границы I_{1min} выбирается по условию отстройки от наводки тока на отключенной линии:

$$I_{1min} = K_{\text{отс}} I_{\text{нав}} ,$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки тока нижней границы, $K_{\text{отс}}$ = 1,5-2,5;

$I_{\text{нав}}$ – максимальный ток наводки.

Если условия, вызывающие наводку тока на отключенной линии (параллельные линии и пр.) отсутствуют, то можно принять $I_{1min} = 0{,}1 I_{\text{н}}$.

1.4.2.2 Уставка по току верхней границы I_{1max} должна с запасом превышать ток нагрузки $I_{\text{н}}$:

$$I_{1max} = K_{\text{з}} I_{\text{н}} ,$$

где $K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, $K_{\text{з}}$ = 1,1-1,2.

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

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

1.4.3.1 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, равную 0,05-0,1 номинального напряжения.

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

$$I_2 = K_з I_{2н} ,$$

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

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

При этом для исключения работы блокировки при несимметричных КЗ уставка по току I_2 должна быть меньше минимального тока обратной последовательности при любом несимметричном КЗ.

1.4.4 Контроль с внешним пуском по назначенному дискретному входу предполагает сопоставление факта просадки любого из контролируемых междуфазных напряжений и наличия сигнала внешнего пуска ЗОЦН на назначенном для этой цели дискретном входе. Сигнал внешнего пуска формируется отдельной внешней схемой, обычно состоящей из нескольких реле напряжения, которые контролируют отсутствие просадки напряжений на выходе другого (не того к которому подключены цепи напряжения устройства) ТН. В результате сигнал работы ЗОЦН формируется при наличии просадки напряжений ТН, к которому подключено устройство, и отсутствии просадки напряжений от другого ТН. На этот же дискретный вход можно подключать блок-контакт автомата своего ТН, замыкающийся и формирующий сигнал внешнего пуска при отключении автомата. Ввод указанной функции контроля неисправности цепей напряжения в уставках устройства должен выполняться если выполнены соответствующие схемотехнические решения для ее реализации.

Результаты расчета уставок ЗОЦН сводятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Уставки ЗОЦН

№ п/п	Наименование уставки	Значение уставки во вторичных единицах	Номер окна в структуре меню устройства
1	Разрешение работы ЗОЦН		702
2	Разрешение работы ЗОЦН по *DI*		703
3	Уставка по напряжению небаланса от 5 до 25 В, с шагом 0,1		710/10
4	Разрешение работы ЗОЦН по составляющим прямой последовательности		710/11
5	Уставка по току нижней границы I_{1min}, А		710/12
6	Уставка по току верхней границы I_{1max}, А		710/13
7	Разрешение работы ЗОЦН по составляющим обратной последовательности		710/14
8	Уставка по току обратной последовательности I_2 от 0,1 до 20 А, с шагом 0,1 А		710/15
9	Уставка по напряжению обратной последовательности U_2		710/16

2 Защиты нулевой последовательности от замыканий на землю устройства РС830-ДЗ

2.1 Организация защит нулевой последовательности

Устройство содержит 8 ступеней защиты нулевой последовательности. Каждая из ступеней может быть назначена на работу как направленная токовая защита нулевой последовательности или дистанционная защита нулевой последовательности. Каждая из ступеней, назначенная как дистанционная, может иметь оду из трех видов характеристик, аналогичных основной дистанционной защите.

В соответствии с классическим подходом для организации защит от замыканий на землю в сетях с большими токами замыкания на землю (110 кВ и выше) используются направленные токовые защиты нулевой последовательности (Л1, Л4). Поэтому, прежде всего, рассмотрим выбор параметров срабатывания для случая назначения ступеней защиты нулевой последовательности устройства РС830-ДЗ в качестве направленных токовых. Особенности выбора уставок при назначении указанных ступеней дистанционными будут рассмотрены отдельно.

Следует также обратить внимание на то, что в устройстве РС830-ДЗ имеется возможность назначить любую из ступеней основной дистанционной защиты на работу только при междуфазных, при однофазных или одновременно при междуфазных и однофазных КЗ. При этом за счет использования в алгоритме работы при однофазных КЗ приема компенсации фазного тока током нулевой последовательности, чувствительность ступеней основной дистанционной защиты при однофазных КЗ оказывается такой же, как при междуфазных. Поэтому функцию защиты от замыканий на землю успешно могут выполнять ступени основной дистанционной защиты, выбор уставок которых уже рассмотрен выше. Значение коэффициента компенсации фазного тока током нулевой последовательности для таких ступеней,

обеспечивающее их одинаковую чувствительность при однофазных и многофазных КЗ, должно определяться в соответствии с выражением

$$k = \frac{Z_0 - Z_{\mathrm{I}}}{Z_{\mathrm{I}}}.$$

2.2 Выбор уставок токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП)

2.2.1 Первая ступень

2.2.1.1 Уставка по току первой ступени (токовой отсечки нулевой последовательности) I_{0y}^{I} выбирается по условию отстройки от максимального тока нулевой последовательности $3I_{0\,max}$, возникающего в защите при КЗ (однофазном или двухфазном на землю) в точке установки любой из предыдущих защит

$$I_{0y}^{\mathrm{I}} = k_з 3I_{0\,max},$$

где $k_з$ – коэффициент запаса, учитывающий погрешность трансформаторов тока, погрешность устройства, неточность расчетов и влияние апериодической составляющей. При использовании устройства РС830-ДЗ на линиях 110-220 кВ может быть принято $k_з$ = 1,3.

Ток $3I_{0\,max}$ выбирается максимальным из всех возможных режимов коротких замыканий. Так для получения максимального тока $3I_0$ в схеме по рис.16 отключают трансформаторы на приемной подстанции, размыкают параллельные связи.

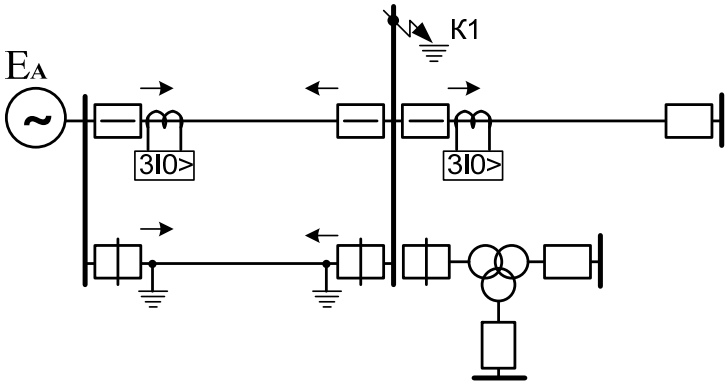

Рисунок 16 – Переключения в сети для выбора режима с максимальным током нулевой последовательности при однофазном КЗ

С той же целью для параллельных линий рассматривают режим каскадного отключения КЗ на параллельной линии (рис.17), поскольку за счет взаимоиндукции ток на рассматриваемой линии увеличивается после первоочередного отключения КЗ на параллельной линии.

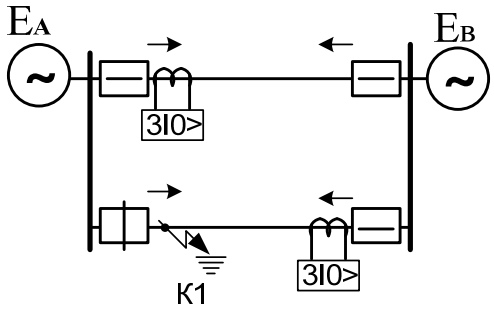

Рисунок 17 – Отключение КЗ на параллельной линии для выбора режима с максимальным током нулевой последовательности при однофазном КЗ

2.2.1.2 Для линий с односторонним питание дополнительно должно быть проверено условие отстройки отсечки первой ступени от небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором приемной подстанции и от броска тока намагничивания при включении под напряжение линии с трансформаторами (автотрансформаторами) с эффективно заземленной нейтралью.

Условие отстройки от небаланса:

$$I_{0y}^{\mathrm{I}} \geq k_{\text{з}} k_{\text{пер}} [\varepsilon] I_{\text{к}max}^{(3)} ,$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, при времени срабатывания ступени меньше 0,1 с, что имеет место для первой ступени $k_{\text{пер}} = 2$;

$[\varepsilon]$– относительная погрешность трансформаторов тока, рекомендуется принимать равной 0,05 при кратности тока КЗ по отношению к номинальному току ТТ не более 3, иначе – 0,1.

$I_{\text{к}max}^{(3)}$ – максимальное значение трехфазного тока КЗ, приведенное к номинальному напряжению в точке установки защиты.

Условие отстройки от броска тока намагничивания (Л.5) в предварительных расчетах может проверяться в соответствии с выражением:

$$I_{0y}^{\text{I}} \geq (4 \ldots 5) \sum I_{\text{ном тр}} ,$$

где $\sum I_{\text{ном тр}}$ – сумма номинальных токов трансформаторов (автотрансформаторов), питающихся по защищаемой линии, заземление нейтрали которых выполнено на стороне установки защиты.

В случае если это условие окажется определяющим при выборе I_{0y}^{I}, что случается достаточно редко, необходимо выполнить уточненный расчет тока нулевой последовательности, вызванного броском тока намагничивания, согласно методике приложения V Л.4.

2.2.1.3 Для первой ступени ТЗНП устройства РС830-ДЗ, так как она является достаточно быстродействующей, должно проверяться условие отстройки от тока нулевой последовательности, возникающего в любом из видов неполнофазного режима при неодновременности замыкания ножей выключателя во время включения или при ОАПВ (последнее если ОАПВ возможно и если не выполняется вывод первой ступени при ОАПВ):

$$I_{0y}^{\text{I}} \geq k_{\text{з}} 3I_{0\,\text{неп}} ,$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса;

$3I_{0\,\text{неп}}$ – максимальное значение тока $3I_0$ в неполнофазном режиме нагрузки при максимально возможной разности фаз ЭДС на концах линии в момент включения. Если включение выполняется без контроля синхронизма – должно приниматься худшее значение разности фаз – 180°.

2.2.1.4 Для выяснения необходимости выполнения первой ступени ТЗНП направленной выполняют сравнение принятого тока срабатывания I_{0y}^{I} с

максимальным током нулевой последовательности при КЗ «за спиной» (на шинах собственной подстанции). Если отстройка от указанного КЗ «за спиной» обеспечивается – ступень следует выполнять ненаправленной, в противном случае – направленной.

2.2.1.5 Зона, защищаемая отсечкой на линии, определяется по кривым спада тока $3I_0$ вдоль линии. Отсечка считается чувствительной, если она охватывает 20 – 25 % длины линии в максимальном режиме.

2.2.1.6 Уставка по времени первой ступени T_{0y}^{I} принимается равной нулю, если отсутствует необходимость ее увеличения по каким либо соображениям.

2.2.2.Вторая ступень

2.2.2.1 Ток срабатывания второй ступени I_{0y}^{II} выбирается по условию отстройки от тока срабатывания первой ступени предыдущих защит $I_{0y\,\text{пред}}^{\mathrm{I}}$ (защит смежных присоединений):

$$I_{0y}^{\mathrm{II}} = k_{\text{з}} k_{\text{то}} I_{0y\,\text{пред}}^{\mathrm{I}} ,$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, $k_{\text{з}}$ =1,1;

$k_{\text{то}}$ – коэффициент токораспределения, определяемый по току $3I_{0\,\text{пред}}$, протекающему в точке КЗ при однофазном КЗ в конце зоны действия предыдущей защиты и току $3I_0$, возникающему в этом режиме в месте установки защиты;

$$k_{\text{то}} = 3I_0 / 3I_{0\,\text{пред}} .$$

При определении $k_{\text{то}}$ следует выбирать режимы, соответствующие его максимальному значению.

2.2.2.2 Для выяснения возможности выполнения второй ступени ТЗНП ненаправленной следует убедиться, что ее уставки по току превышают уставки ступеней защит присоединений, общей с защищаемым присоединением секции шин подстанции, от которых она отстраивается по времени. Так для

выполнения ненаправленной защиты 3 (рис.18) селективность при питании от источника С сохраняется, если уставки защиты 3 по току и времени больше, чем у защит 2, 21 и 31.

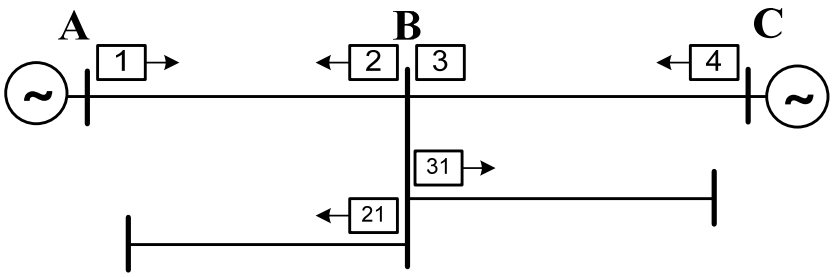

Рисунок 18 – Определение возможности выполнения ненаправленной защиты (для защиты 3)

2.2.2.3 Для второй ступени должны выполнятся условия отстройки от неполнофазного режима в цикле ОАПВ или длительного неполнофазного режима, а также условия отстройки от небаланса при трехфазном КЗ и от броска тока намагничивания. Однако с учетом того, что проверка выполнения этих условий предусмотрена для более чувствительной третьей ступени (пункты 2.2.3.3 и 2.2.3.4), для второй ступени указанные условия можно не проверять.

2.2.2.4 Уставка по времени второй ступени T_{0y}^{II} принимается на ступень селективности больше уставки первой ступени предыдущих защит $T_{0y\,\text{пред}}^{\text{I}}$, с которыми выполняется согласование.

2.2.2.5 Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}0}^{\text{II}}$ второй ступени проверяется по току $3I_{0min}{}^{\text{II}}$, возникающему при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме:

$$k_{\text{ч}0}^{\text{II}} = 3I_{0min}^{\text{II}}/I_{0y}^{\text{II}} \geq 1{,}5\ .$$

Допускается снижение $k_{ч0}^{II}$ до значения 1,3 при наличии резервирования (третья ступень ТЗНП) или если чувствительность проверяется при работе в каскаде и наличии защиты шин на приемной подстанции.

2.2.2.6 Если полученная чувствительность не удовлетворяет требованиям пункта 2.2.2.5, то уставка I_{0y}^{II} может быть определена по условию отстройки от тока срабатывания второй ступени предыдущих защит $I_{0y\,пред}^{II}$ вместо первой. В этом случае для сохранения селективности уставку по времени второй ступени в пункте 2.2.2.4 также следует отстраивать не от первой, а от второй ступени предыдущих защит $T_{0y\,пред}^{II}$.

2.2.3 Третья ступень

2.2.3.1 Ток срабатывания третьей ступени $I_{0y^{III}}$ выбирается аналогично току второй ступени (пункт 2.2.2.1) по условию отстройки от тока срабатывания второй $I_{0y^{II}пред}$ или третьей $I_{0y^{III}пред}$, если последнее необходимо по условию обеспечения чувствительности, ступени предыдущих защит (защит смежных присоединений):

$$I_{0y}^{III} = k_з k_{то} I_{0y\,пред}^{II},$$

или

$$I_{0y}^{III} = k_з k_{то} I_{0y\,пред}^{III}.$$

2.2.3.2 Уставка по времени третьей ступени $T_{0y^{III}}$, в зависимости от того с какой ступенью предыдущих защит выполнено согласование по току, выбирается на ступень селективности больше уставки соответственно второй $T_{0y\,пред}^{II}$ или третьей $T_{0y\,пред}^{III}$ ступени предыдущих защит, с которыми выполнено согласование по току.

2.2.3.3 Условие отстройки от неполнофазного режима для третьей ступени проверяется в цикле ОАПВ на защищаемой или предыдущей линии или в длительном неполнофазном режиме если соответственно ОАПВ или такой режим возможны:

$$I_{0y}^{\text{III}} \geq k_{\text{з}} 3 I_{0\,\text{неп}} \,.$$

2.2.3.4 Дополнительно должно быть проверено условие отстройки третьей ступени от небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором приемной подстанции и от броска тока намагничивания при включении под напряжение линии с трансформаторами (автотрансформаторами) с эффективно заземленной нейтралью.

Условие отстройки от небаланса:

$$I_{0y}^{\text{I}} \geq k_{\text{з}} k_{\text{пер}} [\varepsilon] I_{\text{к}max}^{(3)} \,,$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, при времени срабатывания ступени меньше 0,1 с, что имеет место для первой ступени $k_{\text{пер}} = 2$; до 0,3 с – $k_{\text{пер}} = 1{,}5$; более 0,5 с – $k_{\text{пер}} = 1$. При реальных значениях времени действия третьей ступени обычно $k_{\text{пер}} = 1$;

$[\varepsilon]$– относительная погрешность трансформаторов тока, рекомендуется принимать равной 0,05 при кратности тока КЗ по отношению к номинальному току ТТ не более 3, иначе – 0,1;

$I_{\text{к}max}^{(3)}$ – максимальное значение трехфазного тока КЗ, приведенное к номинальному напряжению в точке установки защиты.

Условие отстройки тока срабатывания третьей ступени от броска тока намагничивания проверяется только в случае ее ускорения после АПВ или при включении выключателя. Если время, до которого ускоряется ступень $T_{0y\,\text{ускор}}^{\text{III}} \geq 0{,}1$ с, то условие отстройки от броска тока намагничивания (Л.5) в предварительных расчетах может проверяться в соответствии с выражением:

$$I_{0y}^{\text{III}} \geq (3 \ldots 4) \sum I_{\text{ном тр}} \,,$$

где $\sum I_{\text{ном тр}}$ – сумма номинальных токов трансформаторов (автотрансформаторов), питающихся по защищаемой линии, заземление нейтрали которых выполнено на стороне установки защиты.

В случае если это условие окажется определяющим при выборе I_{0y}^{III}, необходимо выполнить уточненный расчет тока нулевой последовательности, вызванного броском тока намагничивания, согласно методике приложения V Л.4. Если отстройка от броска тока намагничивания приводит к недопустимому снижению чувствительности третьей ступени, то может быть принято решение об отказе от выполнения ускорения третьей ступени.

2.2.3.5 Вопрос выполнения третьей ступени направленной или нет решается так же как для второй ступени по пункту 2.2.2.2.

2.2.3.6 С учетом необходимости резервирования второй ступени предыдущих защит, коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}0}^{\text{III}}$ третьей ступени проверяется по току $3I_{0min}^{\text{III}}$, возникающему при металлическом однофазном КЗ в конце смежного участка (в каскаде):

$$k_{\text{ч}0}^{\text{III}} = 3I_{0min}^{\text{III}}/I_{0y}^{\text{III}} \geq 1{,}2\ .$$

Если чувствительность третьей ступени оказывается недостаточной или по условиям согласования защит требуется введение промежуточной ступени, ТЗНП следует выполнять четырехступенчатой.

2.2.4 Четвертая ступень

Уставки четвертой ступени выбираются аналогично третьей. При этом, если ее уставка по времени оказывается больше уставок защит от междуфазных КЗ, то условие отстройки от небаланса, вызванного током короткого замыкания, можно не проверять. В этом случае с учетом высокой чувствительности четвертой ступени вместо условия отстройки от небаланса, вызванного током короткого замыкания, следует проверить условие отстройки от небаланса, вызванного максимальным током нагрузки.

2.2.2.5 Уставки ступеней защиты от замыканий на землю сводятся в таблицу (см. таблицу 6)

Таблица 6 –Уставки ступеней токовой защиты нулевой последовательности

№ п/п	Наименование уставки	Значение уставки в первичных / вторичных единицах				Номер окна в структуре меню устройства
		1ст	2ст	3ст	4ст	
1	Разрешение работы ступени					430
2	Выбор уставки по току срабатывания					431
3	Разрешение направленности					432
4	Выбор уставки по углу максимальной чувствительности $\Phi_{мч}$					433
5	Выбор уставки по углу ширины зоны $\Phi_{шз}$					434
6	Выбор уставки по времени срабатывания ЗНЗ ($T_з$)					435
7	Разрешение автоматического ускорения					436
8	Выбор уставки по времени срабатывания ЗНЗ с автоматическим ускорением $T_{зау}$					437
9	Выбор уставки по времени срабатывания ЗНЗ с оперативным ускорением $T_{зоу}$					437а
10	Разрешение блокировки по напряжению $3U_0$					440
11	Выбор уставки по напряжению блокировки ЗНЗ					441
12	Коэффициент возврата					-
13	Гистерезис по углу					785

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. Соловьев. 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. Руководящие указания по релейной защите. Вып.12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ. Расчеты. М. «Энергия», 1980 (составлено институтом Энергосетьпроект).

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