



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Интеллектуальные электрические сети»

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине
**«Проектирование релейной защиты
и автоматики»**

Часть 2. Релейная защита линий электропередач

Автор
Шелест В. А.

Ростов-на-Дону, 2021

Аннотация

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров всех форм обучения направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Энергетические системы и сети»). Методика по проектированию релейной защиты и автоматики изложена в трех частях: «Моделирование токов коротких замыканий», «Релейная защита линий электропередач» и «Релейная защита силового электрооборудования».

Автор

к.т.н., доцент кафедры «ИЭС» Шелест В.А.





Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	5
Практическое занятие № 1	6
Максимально-токовые защиты от междуфазных замыканий	6
Практическое занятие № 2	12
Дистанционные защиты от междуфазных повреждений	12
Практическое занятие № 3	17
Максимальные токовые защиты от замыканий на землю	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	22

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих указаниях рассматривается проектирование релейных защит от различных видов коротких замыканий на линиях электропередач.

Для проверки работоспособности релейных защит с рассчитанными уставками предлагается использовать компьютерное моделирование. Программа MULTISIM более универсальная. Поэтому и было отдано предпочтение моделирующей программе MULTISIM.

В первом практическом занятии достаточно подробно изложены методы расчета уставок максимально-токовой защиты для линий с односторонним питанием и токовых отсечек для линий с двусторонним питанием. Для проверки работоспособности максимально-токовой защиты применяется моделирующая программа Multisim.

Во втором практическом занятии рассчитывается трехступенчатая дистанционная защита. При вычислении уставок учитываются рекомендуемые условия отстроек. Основные выводы по результатам расчетов делаются в соответствии с полученными коэффициентами чувствительности. Для проверки работы защиты используется программа Multisim.

В третьем практическом занятии выполняется проектирование максимально-токовых защит от замыканий на землю, выполняется согласование защит смежных линий и согласование параллельных линий в режиме каскадного отключения. Для упрощения расчетов используется графическое определение коэффициента токораспределения для согласования земляных защит. По аналогии с предыдущими практическими занятиями для проверки работы защиты используется программа Multisim.

Успешному выполнению заданий по практическим занятиям способствуют умение использовать компьютерные технологии и знание основ электротехники.

Применение моделирующей программы MULTISIM позволяет сократить время, затрачиваемой на исследование работы релейной защиты, и ускорить проектирование релейной защиты и автоматики.

Темы практических занятий соответствуют рабочей программе изучаемой дисциплины.

Методика проведения практических занятий содержит элементы научных исследований.

В методических указаниях обозначается цель выполняемой работы, даются общие сведения по теме практического занятия, подробно изложен порядок выполнения работы, указаны требования к содержанию отчета и приведены контрольные вопросы.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

- 1.Выполнению заданий предшествует изучение теоретической части дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в энергосистемах».
- 2.Практические занятия состоят из 3 частей:
 - Максимально-токовые защиты от междуфазных замыканий.
 - Дистанционные защиты от междуфазных повреждений.
 - Максимально-токовые защиты от замыканий на землю.
- 3.Индивидуальные задания по практическим занятиям выдаются преподавателем.
- 4.Рекомендуется выполненные задания печатать (формат А4). Текст и формулы набираются в редакторе Word. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.
- 5.Необходимо использовать титульный лист установленного образца.
- 6.При дистанционном образовании страницы отчета по всем частям изучаемой дисциплины помещаются в один файл *.docx. Название файлу присваивается согласно примеру: «ЭЛ42_ПетровИК_ПрРЗиА_ЛЭП.docx».
- 7.При защите необходимо показать знание материала, изложенного в отчете. Без защищенных выполненных заданий студент к экзамену не допускается.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Максимально-токовые защиты от междуфазных замыканий

1. Цель занятия

В процессе выполнения работы изучить методику проектирования максимально-токовых защит линий электропередач.

2. Общие сведения о максимально-токовых защитах линий электропередач

Максимальные токовые защиты (МТЗ) приходят в действие при увеличении тока в линии сверх некоторого значения, определяемого условиями избирательности. В качестве реле, реагирующих на возрастание тока, используются максимальные токовые реле типа РТ-40, различные комплектные защиты на базе этих реле или измерительные органы тока современных защит, выполненных на микроконтроллерах или микрокомпьютерах.

Алгоритм МТЗ в микропроцессорных и микрокомпьютерных защитах выполнен программно. Это позволяет легко модернизировать такие защиты в плане цифровизации электрических станций и подстанций.

Современное развитие аппаратной части микроконтроллеров и микрокомпьютеров позволяет реализовать самонастраиваемые алгоритмы с учетом опыта работы в нормальном и аварийном режимах. Это является шагом в направлении интеллектуализации энергетики.

Для линий с односторонним питанием МТЗ выполняется многоступенчатой и обычно служит основной защитой от междуфазных повреждений. Для линий с двусторонним питанием МТЗ используется, как правило, в качестве отсечки.

3. Расчет максимально-токовых защит линий электропередач

3.1. Многоступенчатая МТЗ линий с односторонним питанием.

В качестве примера представлен участок сети, приведенный на рисунке 1.1.

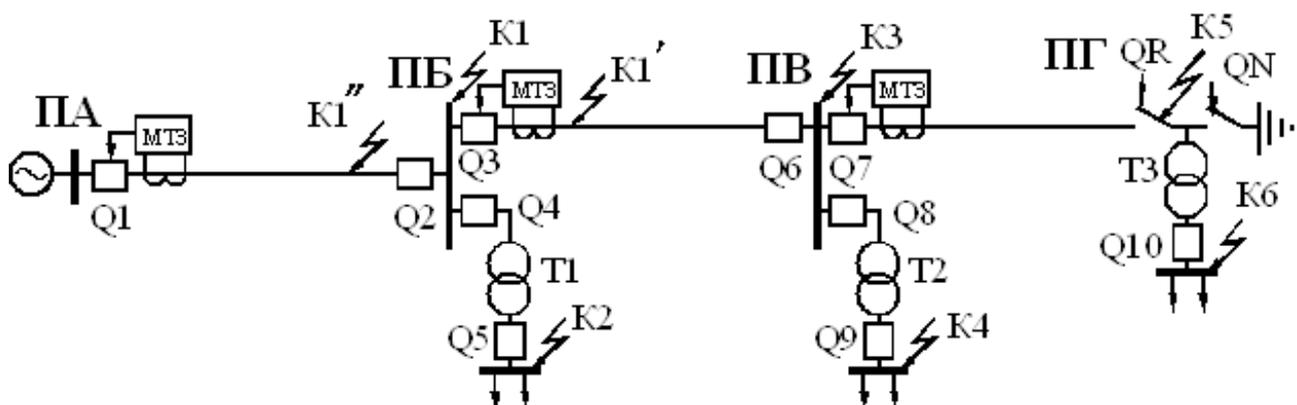


Рисунок 1.1. МТЗ от междуфазных повреждений для линий с односторонним питанием

Для наглядности расчетные выражения даны для защиты, установленной

на подстанции А. Для расчета МТЗ любой другой подстанции формулы будут те же.

1. Ток срабатывания отсечки первой ступени отстраивается от максимального тока КЗ за выключателем смежного участка

$$I_{с.з.(А)}^I = \kappa_3 \cdot I_{к макс.см.(К1)}^I, \quad (1.1)$$

где $\kappa_3 = 1,2$ – коэффициент запаса по избирательности.

Если линия питает трансформаторы, не имеющие выключателей на стороне высокого напряжения, то расчетным является КЗ за выключателем на стороне низшего напряжения. В этом случае $\kappa_3 = 1,3$.

2. Оценка чувствительности отсечки первой ступени производится по величине защищаемой зоны или по коэффициенту чувствительности. Зона, защищаемая отсечкой, определяется по кривым спада в максимальном и минимальном

режимах при условии $I_{кл} \geq I_{с.з.}^I$;

Если расчетной является отстройка от КЗ за трансформатором приемной подстанции (например защита ПВ, точка К6), то отсечка обычно защищает всю линию ($x_{отс} > x_{ВГ}$). В этом случае определяется как $x_{отс}$, так и коэффициент чувстви-

тельности $\kappa_{ч(В)}^I$ при КЗ в конце защищаемой линии (К5):

$$x_{отс} = x_{защ} - x_{сист\Sigma,г} \quad (1.2)$$

где $x_{защ} = U_{ср.н} / (\sqrt{3} \cdot I_{с.з.}^I)$ – результирующее сопротивление, соответ-

ствующее току срабатывания; $x_{сист}$ – сопротивление системы, приведенное к шинам подстанции (В) в месте установки защиты.

$$\kappa_{ч(В)}^I = I_{к мин(К5)}^I / I_{с.з.(В)}^I \quad (1.3)$$

при $\kappa_{ч(В)}^I \geq 1,3$ – отсечка применяется в качестве основной защиты.

3. Определяется остаточное напряжение на шинах в месте установки защиты при КЗ в конце зоны действия отсечки:

$$U_{ост} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{с.з.}^I \cdot x_{отс}}{U_{ср.н}} \cdot 100, \% \quad (1.4)$$

Если остаточное напряжение окажется менее 60%, а питающая подстанция является транзитной, то можно применить ускорение защиты до АПВ.

4. Ток срабатывания отсечки второй ступени отстраивается от токов срабатывания отсечки I или II ступеней защит смежных линий ($\kappa_3 = 1,1$)

$$I_{с.з.(А)}^{II} = \kappa_3 \cdot I_{с.з.см(В)}^{I(II)} \quad (1.5)$$

и проверяется отстройка от КЗ за трансформатором приемной подстанции $\kappa_3 = 1,2$ (при наличии выключателя на стороне высокого напряжения трансформатора, рис.11)

$$I_{с.з.(А)}^{II} = \kappa_3 \cdot I_{к см(К2)} \quad (1.6)$$

Расчетным является большее из значений, полученных по формулам (1.5) и

(2.6).

5. Выдержка времени второй ступени защиты принимается на ступень селективности ($\Delta t = 0,5 \text{ с}$) больше выдержек времени ступеней защиты, от которых произведена отстройка:

$$t_{с.з(A)}^{II} = t_{с.з.см(B)}^{I(II)} + \Delta t. \quad (1.7)$$

6. Чувствительность отсечек второй ступени проверяется в случае металлического КЗ в конце защищаемой линии при минимальном режиме (рис.1.1)

$$K_{ч(A)}^{II} = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з(A)}^{II}} \geq 1,5. \quad (1.8)$$

7. Ток срабатывания максимально-токовой защиты (третьей ступени) отстраивается от максимального тока нагрузки присоединения

$$I_{с.з}^{III} = (k_3 / k_B) \cdot k_C \cdot I_{нагр.Σ}, \quad (1.9)$$

где $k_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по селективности; $k_B = 0,8$ – коэффициент возврата для реле РТ-40; $k_C = 1,5-2,5$ – коэффициент самозапуска электродвигателей; $I_{нагр.Σ} = S_T / \sqrt{3} \cdot 0,9 U_{ном}$ – максимальный ток нагрузки.

8. Проверяется отстройка от токов срабатывания вторых или третьих ступеней защит смежных линий, аналогично (1.5)

$$I_{с.з(A)}^{III} = k_3 \cdot I_{с.з.см(B)}^{II(III)}$$

9. Выдержка времени третьей ступени защиты принимается на ступень селективности больше выдержек времени защит, от которых произведена отстройка, аналогично (1.7).

10. Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при КЗ в конце смежного участка в минимальном режиме (рис.1.1)

$$K_{ч(A)}^{III} = \frac{I_{к.мин(KЗ)}^{(2)}}{I_{с.з(A)}^{III}} \geq 1,2. \quad (1.10)$$

3.2. Отсечки МТЗ линий с двусторонним питанием.

1. Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока, протекающего через защиту при следующих расчетных условиях (рис.1.2):

а) отстройка от максимального тока линии при КЗ на шинах приемной подстанции (рис.1.2,а);

б) отстройка от максимального тока линии при КЗ на шинах подстанции в месте установки защиты (КЗ "за спиной") (рис.1.2,б);

в) отстройка от максимального тока качаний (рис.1.2,в), возникающего при расхождении ЭДС параллельно работающих станций на 180° и

$$E_\phi = 1,05 \cdot U_{ср.ном} / \sqrt{3} \quad (\text{рис.1.2,в}):$$

$$I_{кач.макс} = \frac{2 \cdot 1,05 E_\phi}{x_{экв.мин}} = \frac{2,1 \cdot U_{ср.н}}{\sqrt{3} \cdot x_{экв.мин}}, \quad (1.11)$$

где $x_{экв.мин}$ – эквивалентное минимальное сопротивление связи между парал-

тельно работающими станциями, включая сверхпереходное сопротивление генераторов и сопротивление линии связи; $X_{\text{экв.мин}} = X_{\text{сист.А}} + X_{\text{сист.В}} + X_{\text{л}}$.

Ток срабатывания отсечки выбирается по наибольшему из полученных значений токов

$$I_{\text{с.з}} = \kappa_3 \cdot I_{\text{макс}} \quad (2.12)$$

Поскольку при внешних КЗ (К1, К2) и при качаниях через защиты, установленные на обоих концах линии, протекают одинаковые токи, то уставка срабатывания для обеих защит принимается одной и той же: $I_{\text{с.з.АБ}} = I_{\text{с.з.БА}}$.

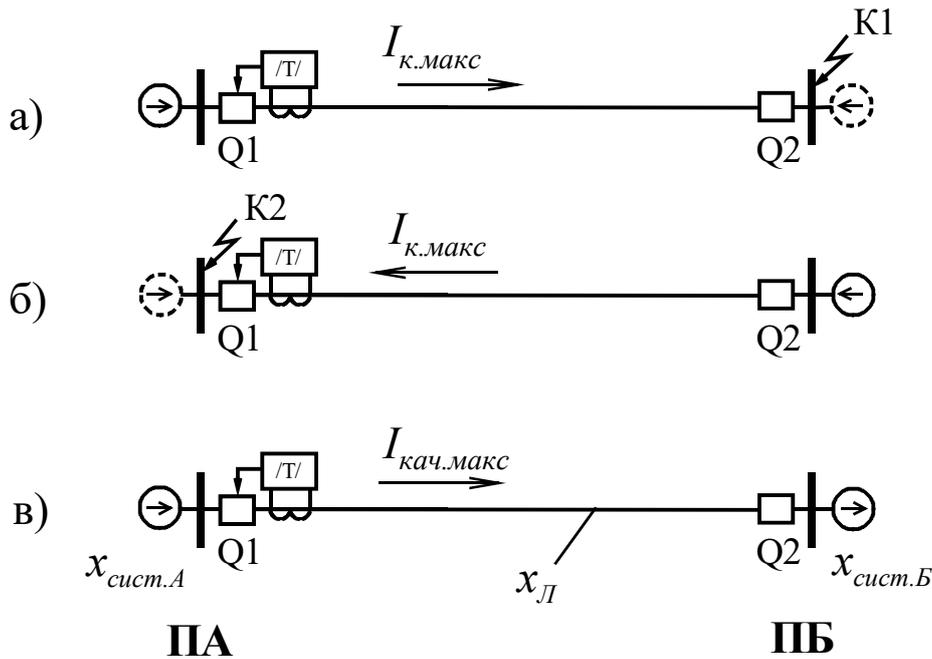


Рис.1.2. К выбору тока срабатывания отсечек линий с двусторонним питанием

2. Определяются зоны, защищаемые отсечкой в максимальном и минимальном режимах, а также в режиме каскадного отключения. В первом случае используются кривые спадания, во втором – выражение (1.2), а

$$I_{\text{отс.}\%} = (X_{\text{отс}} / X_{\text{л}}) 100.$$

Рекомендуется определить чувствительность отсечки при двухфазном КЗ в начале линии. Отсечка может рекомендоваться к установке, если $\kappa_4 \geq 1,2$.

3. Определяются по (1.4) уровни остаточных напряжений на шинах подстанций (в месте установки защиты) при КЗ в конце зоны действия отсечки. Для максимального и минимального режимов $X_{\text{отс}} = I_{\text{отс.}\%} \cdot X_{\text{л}}$, для режима каскадного отключения $X_{\text{отс}}$ находится по (1.2). Определение $X_{\text{сист.}\Sigma}$ показано на рис.1.3.

4. Производится заключение о применимости отсечки. Если напряжение на шинах подстанции в минимальном режиме или режиме каскадного отключения с $t = 0$ равно или превышает 60%, то отсечка применяется с качестве основной защиты. Если остаточное напряжение менее 60%, а отсечка защищает в максимальном режиме 15-20% линии, то она применяется в качестве дополнительной.

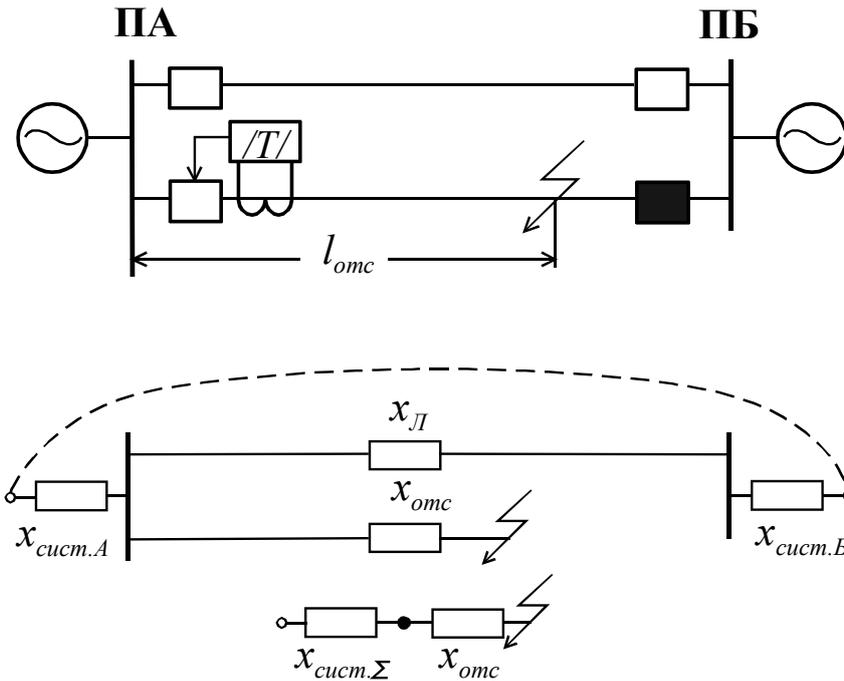


Рис.1.3. Определение результирующего сопротивления системы при каскадном отключении КЗ

4. Моделирование многоступенчатой МТЗ линий с односторонним питанием

4.1. В программе Multisim создать модель многоступенчатой МТЗ линий с односторонним питанием.

4.2. Выполнить настройку модели по результатам расчетов, выполненных в пунктах 1.1 ÷ 1.10.

4.3. На модели проверить работоспособность спроектированной многоступенчатой МТЗ линий с односторонним питанием.

5. Подготовка доклада на конференцию.

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненного практического занятия.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Условия определения уставок МТЗ первой ступени.

6.2. Условия определения уставок МТЗ второй ступени.

6.3. Условия определения уставок МТЗ третьей ступени.

6.4. В каком случае токовая отсечка ЛЭП используется как основная?

6.5. В каком случае токовая отсечка ЛЭП используется как дополнительная?

6.6. Какие компоненты программы Multisim использовались при моделировании МТЗ?

6.7. Ваши дополнительные предложения по применению программы MULTISM для

моделирования МТЗ линий электропередач.

7 Содержание отчета

- 7.1. Наименование практического занятия.
- 7.2. Цель практического занятия.
- 7.3. Расчетные формулы многоступенчатой МТЗ линий с односторонним питанием.
- 7.4. Расчетные формулы токовых отсечек для линий с двусторонним питанием.
- 7.5. Модель многоступенчатой МТЗ линий с односторонним питанием.
- 7.6. Результат моделирования многоступенчатой МТЗ линий с односторонним питанием.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Дистанционные защиты от междуфазных повреждений

1. Цель занятия

В процессе выполнения работы изучить методику проектирования дистанционной защиты от междуфазных повреждений.

2. Общие сведения о дистанционных защитах линий электропередач

Дистанционные защиты используются в сетях сложной конфигурации для защиты линий от междуфазных КЗ. Эти защиты приходят в действие при снижении сопротивления сети, т.е. являются минимальными. Основными преимуществами дистанционных защит по сравнению с токовыми защитами являются независимость защищаемой зоны при изменении уровня токов КЗ, т.е. при изменении режима работы сети, а также направленность действия. Селективность защит смежных линий обеспечивается введением ступенчатых выдержек времени: все КЗ в пределах I зоны (ступени), ближайшей к месту установки защиты, отключаются с минимальным временем; все КЗ в пределах II зоны – с большим временем; КЗ в пределах последней, III зоны, отключаются с наибольшим временем. Измерительными органами защиты являются направленные реле полного сопротивления, которые называются дистанционными органами (реле I и II ступеней) и пусковыми органами (реле III ступени).

3. Расчет дистанционных защит линий электропередач

1. Предварительно в зависимости от марки провода определяется удельное комплексное сопротивление $z_{\gamma} = r_{\gamma} + jx_{\gamma}$, по которому находится полное сопротивление линии $z_{\Gamma} = z_{\gamma} \cdot l$. Затем находится длительно допустимый ток по условиям нагрева проводов, по которому выбирается коэффициент трансформации ТТ.

2. Уставка срабатывания первой ступени выбирается из условия отстройки от КЗ на шинах приемной подстанции

$$z_{с.з}^I = k_3 \cdot z_{\Gamma}, \quad (2.1)$$

где $k_3 = 0,85$ – коэффициент запаса по избирательности, учитывающий погрешность защиты совместно с трансформаторами тока и напряжения.

Отстройка от КЗ на шинах подстанции в месте установки защиты не производится, так как все ступени защиты выполнены направленными.

3. Уставка срабатывания второй ступени выбирается по двум основным условиям (рис.2.1):

а) согласование с дистанционными защитами смежных линий

$$z_{с.з}^{II} = k_3 \cdot z_{\Gamma} + k_3' \cdot z_{с.з.см}^{I(II)} / k_{ток}, \quad (2.2)$$

где $k_3' = 0,78$ – коэффициент запаса по избирательности согласуемых защит линий; $k_{ток} = I_{з.выб} / I_{з.см}$ – коэффициент токораспределения, определяемый по току трехфазного КЗ в конце зоны действия той защиты, с которой производится согласование (при этом следует рассматривать такие режимы, когда значение $k_{ток}$ максимально); $I_{з.выб}$ – ток, протекающий через ТТ защиты, для которой выбирается уставка; $I_{з.см}$ – ток,

протекающий через ТТ смежной защиты, с которой производится согласование; $z_{с.з.см}^{I(II)}$ – уставка срабатывания первой (или второй) ступени защиты смежной линии; б) отстройка от КЗ за трансформатором приемной подстанции

$$z_{с.з}^{II} = \kappa_3 \left[z_{л} + j \frac{(1 - \Delta U)^2}{k_{ток}} \cdot x_T \right], \quad (2.3)$$

где ΔU – наибольший относительный предел регулировки напряжения силового трансформатора / 4 /, например, $\Delta U = 0,12$ при регулировке $\pm 12\%$.

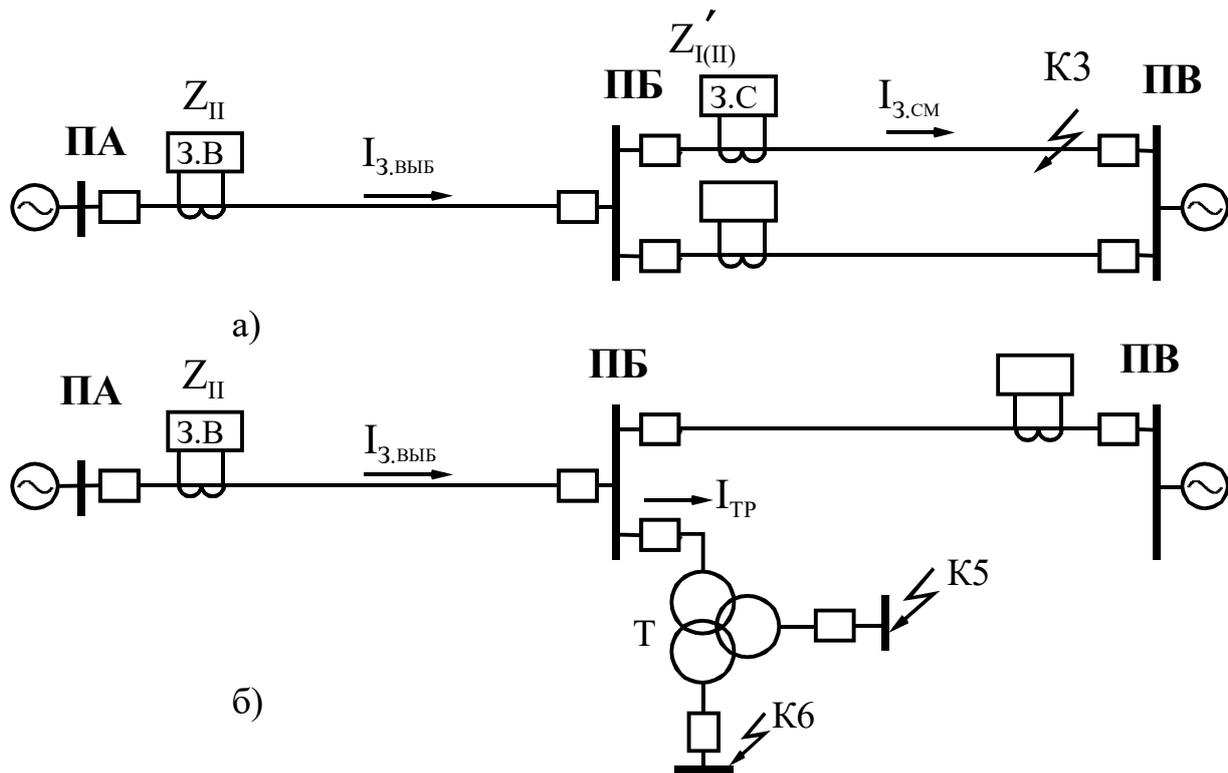


Рис.2.1. Расчетные условия для согласования дистанционных защит: а – согласование с защитами смежных линий; б – отстройка от КЗ за трансформатором

В дальнейшем из всех полученных значений сопротивлений срабатывания в качестве расчетного выбирается наименьшее.

4. Выдержка времени второй ступени принимается на ступень селективности ($\Delta t = 0,5$ с), больше выдержек времени тех ступеней защит, с которыми производится согласование:

$$t_{с.з}^{II} = t_{с.з.см}^{I(II)} + \Delta t. \quad (2.4)$$

Из всех полученных значений выдержки времени в качестве расчетной выбирается большая.

При наличии на смежных параллельных линиях поперечной защиты, вторая ступень дистанционной защиты должна быть отстроена от времени каскадного действия поперечной защиты (порядка 0,7-0,8 с). Если на приемной подстанции предусматривается устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ), то вторая ступень защиты должна быть отстроена от времени его действия (0,8-0,9 с).

5. Чувствительность второй ступени защиты проверяется при металлических КЗ на шинах приемной подстанции (режим ближнего резервирования):

$$k_{\text{Ч}}^{\text{II}} = z_{\text{С.З}}^{\text{II}} / z_{\text{Л}} \geq 1,25. \quad (2.5)$$

Если на линии имеется отпайка, то чувствительность проверяется и при металлическом КЗ в конце ее (рис.2.2,а):

$$k_{\text{Ч}}^{\text{II}} = \frac{z_{\text{С.З}}^{\text{II}}}{z_{\text{Л.отп}} + (z_{\text{отп}} / k_{\text{ток.отп}})} \geq 1,25 \quad (2.6)$$

где $z_{\text{Л.отп}}$ – сопротивление линии от места установки защиты до отпайки; $z_{\text{отп}}$ – сопротивление отпайки; $k_{\text{ток.отп}} = I_{\text{з.выб}} / I_{\text{отп}}$ – коэффициент токораспределения при КЗ в конце отпайки.

Допускается выполнение условия (2.6) при каскадном отключении КЗ на отпайке.

6. Уставка срабатывания третьей степени защиты выбирается, как правило, по условиям отстройки от максимального тока нагрузки линии. Ток нагрузки принимается либо по длительно допустимому току нагрева провода, либо задается диспетчерской службой энергосистемы, в последнем случае указывается $\cos\varphi$ нагрузки:

$$z_{\text{С.З}}^{\text{III}} = \frac{U_{\text{мин.экспл}}}{\sqrt{3} \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}} \cdot I_{\text{нагр}} \cdot \cos(\varphi_{\text{м.ч}} - \varphi_{\text{нагр}})}, \quad (2.7)$$

где $U_{\text{мин.экспл}}$ – минимальное эксплуатационное напряжение, предварительно может быть принято равным $0,9 U_{\text{ном}}$; $k_{\text{н}} = 1,2$ – коэффициент надежности; $k_{\text{в}} = 1,1$ – коэффициент возврата (для реле сопротивления); $\varphi_{\text{м.ч}} = 65-80^\circ$ – угол максимальной чувствительности реле сопротивления; $\varphi_{\text{нагр}}$ – угол сопротивления, обусловленного нагрузкой.

Первоначально $z_{\text{С.З}}$ определяется при $\cos(\varphi_{\text{м.ч}} - \varphi_{\text{нагр}}) = 1$, но если чувствительность защиты получается недостаточной, то учитывают характер нагрузки и $\varphi_{\text{м.ч}}$. Обычно $\varphi_{\text{нагр}} \leq 30-40^\circ$.

7. Выдержка времени третьей степени выбирается на ступень селективности больше выдержки времени вторых ступеней защит, аналогично (2.4).

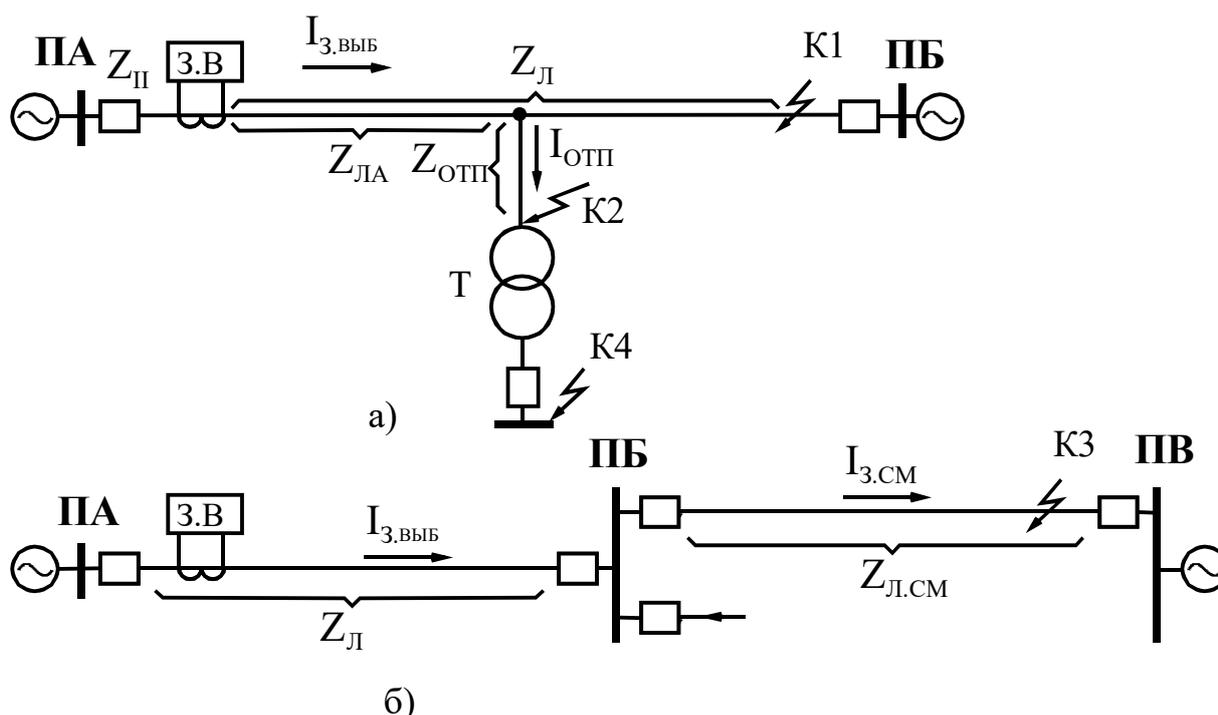


Рис.2.2. Расчетные условия для проверки чувствительности дистанционной защиты:
а – при КЗ на отпайке; б – при КЗ в конце смежной линии

8. Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при КЗ в конце смежной линии (режим дальнего резервирования, рис.2.2,б):

$$k_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{z_{\text{с.з}}^{\text{III}}}{z_{\text{л}} + z_{\text{л.с.м}} / k_{\text{ток}}} \geq 1,2. \quad (2.8)$$

При оценке чувствительности рассматриваются такие режимы, при которых значение $k_{\text{ток}}$ минимально.

Если условие (2.8) не обеспечивается, то на шинах приемной подстанции необходимо предусмотреть УРОВ.

9. Производится заключение о возможности применения защиты в качестве основной или резервной, для чего определяется остаточное напряжение на шинах при КЗ в конце первой ступени:

$$U_{\text{ост}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot z_{\text{л}} \cdot I_{\text{к}}^{\text{I}}}{U_{\text{ср.н}}} \cdot 100, \% \quad (2.9)$$

где $I_{\text{к}}^{\text{I}}$ – ток линии при трехфазном КЗ в конце первой ступени защиты, определяемый по кривым спада. Если остаточное напряжение на шинах транзитной подстанции будет равно или больше 60% (в минимальном режиме), то защита применяется в качестве основной от междуфазных КЗ, если менее 60%, то в качестве резервной.

4. Моделирование дистанционной защиты линии электропередачи

4.1. В программе Multisim создать модель дистанционной защиты линии электропередачи.

4.2. Выполнить настройку модели по результатам расчетов, выполненных в пунктах 2.1 ÷ 2.9.

4.3. На модели проверить работоспособность спроектированной дистанционной защиты линии электропередачи.

5. Подготовка доклада на конференцию.

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненного практического занятия.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Условия определения уставок первой ступени дистанционной защиты.
- 6.2. Условия определения уставок второй ступени дистанционной защиты.
- 6.3. Условия определения уставок третьей ступени дистанционной защиты.
- 6.4. Расчетные условия для согласования дистанционных защит
- 6.5. Расчетные условия для проверки чувствительности дистанционной защиты
- 6.6. Какие компоненты программы Multisim использовались при моделировании дистанционной защиты?

6.7.Ваши дополнительные предложения по применению программы MULTISM для моделирования дистанционных защит.

7 Содержание отчета

- 7.1. Наименование практического занятия.
- 7.2. Цель практического занятия.
- 7.3.Расчетные формулы для первой ступени дистанционной защиты.
- 7.4. Расчетные формулы для второй и третьей ступеней дистанционной защиты.
- 7.5. Модель дистанционной защиты линии электропередачи.
- 7.6.Результат моделирования дистанционной защиты линии электропередачи.
- 7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Максимальные токовые защиты от замыканий на землю

1. Цель занятия

В процессе выполнения работы изучить методику проектирования токовых защит от замыканий на землю.

2. Общие сведения о токовых защитах от замыканий на землю

Для защиты электрических сетей с эффективно заземленной нейтралью от замыканий на землю применяют максимальные токовые защиты нулевой последовательности (ТЗНП). Эти защиты выполняются многоступенчатыми с органом направления мощности или без него. В качестве токового органа защиты используется реле типа РТ-40 (иногда реле РНТ-560) или микропроцессорные реле, которые включаются на выход фильтра тока нулевой последовательности. В качестве такого фильтра часто используется нулевой провод трансформаторов тока, соединенных по схеме полной звезды.

Для защиты сетей 110-750 кВ применяют трех- и четырехступенчатые ТЗНП в составе комбинированных панелей или в виде отдельных панелей.

3. Расчет токовых защитах от замыканий на землю

1. Ток срабатывания отсечки первой ступени выбирается по условиям:

а). Отстройки от максимального тока $3I_0$, протекающего через защиту при КЗ за выключателем смежного участка (на шинах приемной подстанции). Для получения максимальной величины тока $3I_0$ отключают трансформаторы на шинах приемной подстанции, разрывают параллельные связи, питающие точку КЗ. Пример выполнения

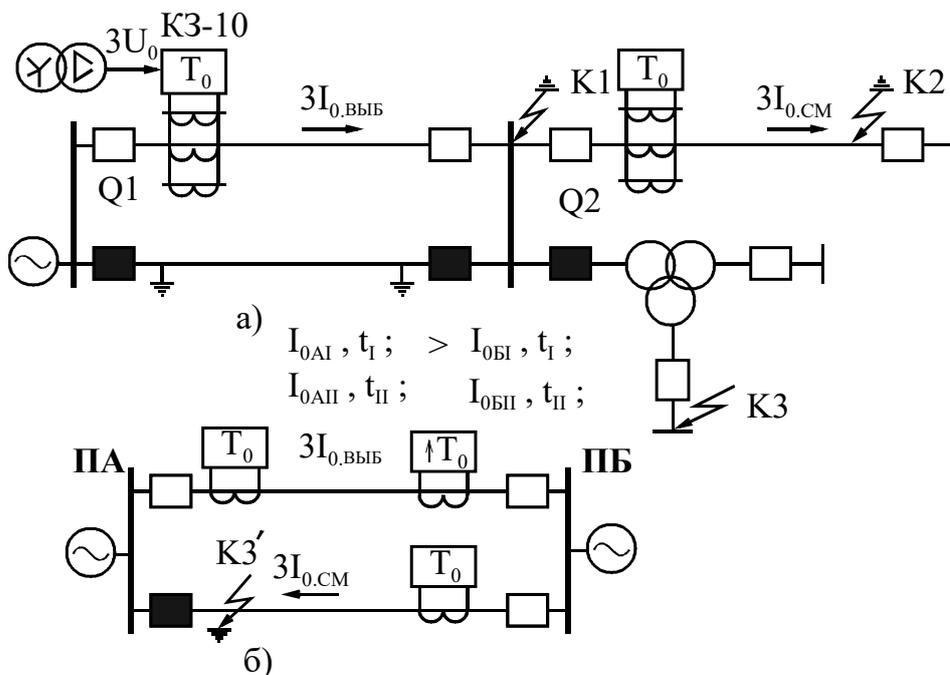


Рис.3.1. Расчетные условия для выбора уставок МТЗ от замыканий на землю: а – согласование защит смежных линий; б – согласование параллельных линий в режиме каскадного отключения

таких расчетных условий показан на рис.3.1,а, точка К1. Так, в частности, для параллельных линий отключают и заземляют одну из них, что снижает сопротивление оставшейся линии (рис.3.1,б).

б). Для параллельных линий отсечка первой ступени должна быть отстроена от каскадного отключения КЗ на параллельной линии, поскольку в этом случае, вследствие взаимоиндукции линий, точка КЗ как бы приближается к шинам подстанции, у которой произошло первоочередное отключение КЗ на параллельной линии, что увеличивает ток неповрежденной линии (рис.3.1,б).

Поскольку величина токов $3I_0$ зависит от вида КЗ (однофазное или двухфазное на землю), расчетным является тот вид замыкания, где ток $3I_0$ больше. Выбор расчетного вида КЗ производится в зависимости от соотношения сопротивлений прямой и нулевой последовательности, приведенных к рассматриваемой точке КЗ. При $X_{1\Sigma} > X_{0\Sigma}$ расчетным является двухфазное КЗ на землю, при $X_{1\Sigma} < X_{0\Sigma}$ – однофазное КЗ.

По наибольшему из полученных значений тока $3I_0$ определяют ток срабатывания отсечки первой ступени

$$I_{0с.з}^I = \kappa_3 \cdot 3I_{0\max}, \quad (3.1)$$

где κ_3 – коэффициент запаса по избирательности, учитывающий погрешность реле, ошибки расчета, влияние апериодической слагающей и необходимый запас. При использовании реле типа РТ-40 для линий 110-220 кВ $\kappa_3 = 1,3$, для линий 330-750 кВ – $\kappa_3 = 1,4-1,5$.

в). Для линий с односторонним питанием ток срабатывания отсечки первой ступени также должен быть отстроен от тока небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором приемной подстанции и от броска намагничивания тока, возникающего при включении линии под напряжение совместно с трансформаторами (автотрансформаторами) с глухозаземленной нейтралью.

Отстройка первых ступеней от неполнофазного режима, возникающего при разновременном включении фаз выключателя, не производится, так как все комплектные защиты имеют на выходе промежуточное реле, обеспечивающее отстройку по времени.

2. Для решения вопроса о выполнении отсечки первой ступени с органом направления или без него производят сравнение токов срабатывания отсечек первых ступеней, установленных по концам защищаемой линии. Отсечка, ток срабатывания которой больше, выполняется ненаправленной, отсечка с меньшим током срабатывания – направленной (рис.3.1,б).

3. По кривым спада тока $3I_0$ по линии определяется зона, защищаемая отсечкой в максимальном и минимальном режимах. Отсечка считается удовлетворительной, если она защищает 20-25% линии в максимальном режиме (или каскаде).

4. Ток срабатывания отсечки второй ступени выбирается по условиям согласования с отсечками первых (вторых) ступеней защит смежных линий

$$I_{0с.з}^{II} = \kappa_3 \cdot \kappa_{ток} \cdot I_{0с.з.см}^{I(II)}, \quad (3.2)$$

где $\kappa_3 = 1,1$ – коэффициент запаса по избирательности согласуемых линий; $\kappa_{ток} = 3I_{0з.выб} / 3I_{0з.см}$ – коэффициент токораспределения, определяемый по току $3I_0$ при однофазном замыкании в конце зоны действия той защиты, с которой производится согласование; $3I_{0з.выб}$ – ток $3I_0$, протекающий через ТТ защиты, для которой выбирается уставка; $3I_{0з.смеж}$ – ток $3I_0$, протекающий через ТТ защиты, с которой произво-

дится согласование; $I_{0с.з.см}^{I(II)}$ – ток срабатывания первой или второй ступеней защиты смежной линии.

Определение коэффициента токораспределения для параллельных и кольцевых линий производится графически по кривым спада (рис.3.2), в других случаях – по схеме замещения нулевой последовательности. *Выбирая коэффициент токораспределения, следует рассматривать такие режимы, когда значение $k_{ток}$ максимально.* При этом справедливы рекомендации по выбору режимов, указанные для отсечек первой ступени.

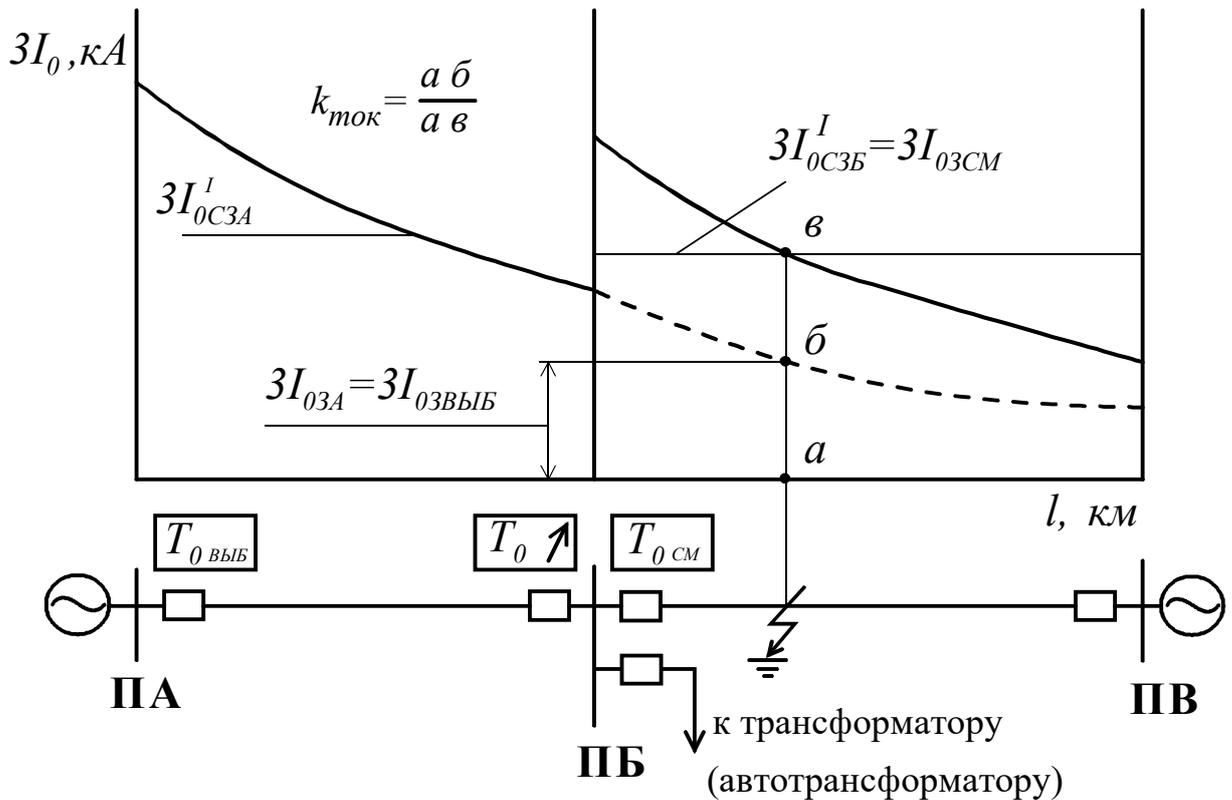


Рис.3.2. Графическое определение коэффициента токораспределения для согласования земляных защит

5. Применение органа направления мощности для отсечек вторых ступеней, установленных на концах А и Б (рис.3.2) одной линии, определяется следующим образом. Если время и ток срабатывания отсечки на подстанции А соответственно больше времени и тока срабатывания отсечки подстанции Б:

$$t_{с.з А}^{II} > t_{с.з Б}^{II} \quad \text{и} \quad I_{с.з А}^{II} > I_{с.з Б}^{II},$$

то на подстанции А защита выполняется ненаправленной, а на подстанции Б – направленной.

В остальных случаях обе защиты, как правило, принимаются направленными.

6. Выдержка времени отсечки второй ступени принимается на ступень селективности ($\Delta t = 0,5 \text{ с}$) больше выдержек времени тех ступеней защит, от которых произведена отстройка.

При отстройке от защит нескольких линий в качестве расчетных принимаются наибольшие значения тока срабатывания и выдержки времени.

7. Чувствительность отсечки второй ступени проверяется при металлическом однофазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме

$$k_{ч}^{II} = \frac{3I_{0к мин}}{I_{0с.з}^{II}} \geq 1,5 \quad (3.3)$$

Допускается уменьшение коэффициента чувствительности до 1,3 при наличии резервирования (третьей ступени), а также проверка условия $k_{\text{ч}}^{\text{II}}$ в каскаде при наличии защиты шин на приемной подстанции.

8. Ток срабатывания отсечки третьей ступени выбирается по условиям отстройки от вторых и третьих ступеней защит смежных линий (аналогично выбору второй ступени), а также по условиям отстройки от максимального тока небаланса при трехфазном КЗ за трансформатором приемной подстанции:

$$I_{0\text{с.з}}^{\text{III}} = k_{\text{з}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{к макс}}^{(3)} \quad (3.4)$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса по избирательности; $k_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается равным 2 при выдержке времени рассматриваемой ступени до от 0,1 с; 1,5 – до 0,3 с; 1 – свыше 0,5-0,6 с; $k_{\text{нб}}$ – коэффициент небаланса (соответствует относительной наибольшей погрешности ε трансформаторов тока), зависит от кратности тока КЗ по отношению к номинальному току ТТ, принимается равным 0,05 – при кратности $I_{\text{к}}$ до $3I_{1\text{номТТ}}$; 0,1 – при больших кратностях.

Ток срабатывания третьей ступени должен быть также отстроен от броска намагничивающего тока.

9. Выдержка времени отсечки третьей ступени принимается на ступень селективности больше выдержек времени тех ступеней защит, от которых произведена отстройка.

Третьи ступени защит выполняются, как правило, с органом направления мощности.

10. Чувствительность третьей ступени защиты проверяется при металлическом однофазном повреждении в конце смежного участка (в каскаде)

$$k_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{3I_{0\text{ мин}}}{I_{0\text{с.з}}^{\text{III}}} \geq 1,2. \quad (3.5)$$

Если чувствительность третьей ступени окажется недостаточной или по условиям согласования защит требуется введение промежуточной ступени, то в этих случаях защита выполняется четырехступенчатой. Выбор уставок срабатывания четвертой ступени производится так же, как и для третьей ступени.

11. При расчете защит от замыканий на землю для участка сети первоначально рассчитываются уставки первых ступеней всех защит, а затем последовательно уставки вторых и третьих ступеней защит отдельных линий. Рассчитанные уставки наносятся на кривые спада тока $3I_0$, после чего строятся токовременные характеристики защит.

4. Моделирование токовой защиты от замыканий на землю

4.1. В программе Multisim создать модель токовой защиты от замыканий на землю.

4.2. Выполнить настройку модели по результатам расчетов, выполненных в пунктах 2.1 ÷ 2.11.

4.3. На модели проверить работоспособность спроектированной токовой защиты от замыканий на землю.

5. Подготовка доклада на конференцию.

На основании изученного материала выбрать тему доклада на конференции по исследованию в области энергетики и согласовать ее с преподавателем.

Провести дополнительные исследования в рамках выполненного практического занятия.

Составить презентацию по результатам своей работы для доклада на конференции.

6. Контрольные вопросы

6.1. Условия определения уставок первой степени токовой защиты от замыканий на землю.

6.2. Условия определения уставок второй степени токовой защиты от замыканий на землю.

6.3. Условия определения уставок третьей степени токовой защиты от замыканий на землю.

6.4. Согласование защит параллельных линий в режиме каскадного отключения

6.5. Графическое определение коэффициента токораспределения для согласования земляных защит

6.6. Какие компоненты программы Multisim использовались при моделировании токовой защиты от замыканий на землю?

6.7. Ваши дополнительные предложения по применению программы MULTISM для моделирования токовой защиты от замыканий на землю.

7 Содержание отчета

7.1. Наименование и цель практического занятия.

7.2. Расчетные формулы для первой степени токовой защиты от замыканий на землю.

7.3. Расчетные формулы для второй степени токовой защиты от замыканий на землю.

7.4. Расчетные формулы для третьей ступеней токовой защиты от замыканий на землю.

7.5. Модель токовой защиты от замыканий на землю.

7.6. Результат моделирования токовой защиты от замыканий на землю.

7.7. Краткие ответы на контрольные вопросы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чмыхалов Г.Н. Расчеты токов короткого замыкания при проектировании релейной защиты и автоматики на ПЭВМ/ Г.Н. Чмыхалов, А.В. Тютин, Н.О. Калинина // – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). – 2008. – 31с.
2. Жарков Ю.И. Моделирование дискретных устройств автоматики систем электропитания с использованием программного пакета MULTISIM / Ю.И. Жарков, Д.В. Колосов, И.Г. Фролов // – Ростов-на-Дону: РГУПС. – 2012. – 70с.
3. Дьяков А.Ф. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем: Учебное пособие/ А.Ф. Дьяков, В.В. Платонов// – М: Изд-во МЭИ. – 200/ – 248.